

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení

Zkušební stand čidel opotřebení brzdových čelistí

Testing Stand of Wear Sensors of Brake Shoes

Student:

Bc. Radim Rygel

Vedoucí diplomové práce:

Dr. Ing. Miroslav Bova

Ostrava 2016

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Radim Rygel**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2302T043 Hydraulika a pneumatika
Téma: Zkušební stand čidel opotřebení brzdových čelistí
Testing Stand of Wear Sensors of Brake Shoes
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte studii o použití brzdových systémů u automobilů.
2. Zpracujte návrh zkušebního standu včetně metodiky a postupu testování.
3. Proveďte potřebné výpočty.
4. Vybrané řešení rozpracujte do formy projektu.
5. Zpracujte modelovou simulaci procesu zkoušení.
6. Vypracujte návod na obsluhu a údržbu.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] SIVÁK, V. *Projektování hydraulických systémů*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 1990. 333 s. ISBN 80-7078-037-1.
[2] PIVOŇKA, J. a kol. *Tekutinné mechanismy*. Praha: SNTL, 1987. 623 s.
[3] KOPÁČEK, J. *Hydrostatické převodové mechanismy*. Praha: SNTL, 1986. 272 s.
[4] PAVLOK, B., HRUŽÍK, L., BOVA, M. *Hydraulická zařízení strojů*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2007. 116 s.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Dr. Ing. Miroslav Bova**

Datum zadání: 11.12.2015

Datum odevzdání: 16.05.2016



doc. Dr. Ing. Lumír Hružík
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta:

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 16.5.2016

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Rygel', written over a dotted line.

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 16.5.2016



.....
podpis

Jméno a příjmení autora práce: Radim Rygel

Adresa trvalého pobytu autora práce: Ivana Kubince 48, Kravaře, 747 21

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

RYGEL, R. *Zkušební stend čidel opotřebení brzdových čelistí : diplomová práce*. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení, 2016, 58 s. Vedoucí práce: Bova, M.

Diplomová práce se zabývá návrhem zkušebního stendu čidel opotřebení brzdových čelistí. V úvodu je přiblížen brzdový systém v automobilech. Následuje popis konkrétního problému a návrh různých provedení. Zbývajícím prostorem je věnován vybranému návrhu, který je rozpracován do formy projektu. To znamená zpracování modelu v CAD systému, volba jednotlivých prvků a jejich popis. V práci se nacházejí vizualizace modelu včetně simulace procesu zkoušení. Součástí práce je i návod na obsluhu a údržbu. Projekt byl dokonce vyroben a funguje v provozu. Sestavný výkres zkušebního stendu je přiložen v příloze diplomové práce.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

RYGEL, R. *Testing Stand of Wear Sensors of Brake Shoes : Master Thesis*. Ostrava : VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Hydromechanics and Hydraulic Equipment, 2016, 58 p. Thesis head: Bova, M.

Master thesis is dealing with design of testing stand of brake wear indicators. At the beginning there is a closer view at braking system in automobiles. Then follows the description of a problem and implementation of the various proposals. The remaining space of the thesis is dedicated to the selected proposal, which is elaborated to the project form. That means CAD model creation, choice of the individual components and their description. The visualization of the model including simulation of the testing process is a part of the thesis. The work also includes instructions for operation and maintenance. The project was actually manufactured and it's in working operation now. Assembly drawing of the testing stand is included in the attachment of the master thesis.

Obsah

	strana
Seznam použitých značek a symbolů	8
0 Úvod	9
1 Brzdový systém	10
1.1 Parkovací brzdový systém	11
2 Vývoj	11
2.1 Špalíková brzda	11
2.2 Pásová brzda	12
2.3 Bubnová brzda	12
2.4 Kotoučová brzda	14
3 Testovací zařízení	16
3.1 Varianty	18
4 Návrh pneumatického systému	21
4.1 Výpočet tlaku pro napínání	22
4.2 Vadné kusy	22
4.3 Bezkontaktní systém značení	22
5 Funkční schéma a specifikace prvků	25
5.1 Popis funkce	25
5.2 Použité prvky	25
6 Snímač síly a dráhy	26
6.1 Snímač síly	26
6.2 Snímač dráhy pohybu	28
7 Konstrukční návrh zařízení	29
7.1 Povrchové úpravy	36

8	Skutečné zařízení	36
9	Simulace procesu testování	39
9.1	Vyhodnocení špatné desky	41
10	Návod k obsluze a údržbě	42
10.1	Úvod.....	42
10.2	Popis zařízení.....	42
10.3	Pneumatický systém	44
10.4	Popis obsluhy zařízení	46
10.5	Volné díly	50
11	Technické parametry	50
12	Uvedení do provozu	51
13	Obsluha, ošetřování a údržba	51
13.1	Požadavky na obsluhu a údržbu.....	51
13.2	Obsluha zařízení	51
13.3	Údržba zařízení	52
14	Zásady pro dodržování bezpečnosti práce	52
14.1	Specifikace nebezpečných míst na stroji	53
14.2	Specifikace škodlivin a rizik.....	53
14.3	Likvidace požáru.....	53
15	Závěr	54
16	Použité informační zdroje	56
17	Použitá literatura	57
18	Seznam příloh.....	58

Seznam použitých značek a symbolů

Značka	Název veličiny	Jednotka
D	průměr pístu pneumatického motoru	[m]
F	síla	[N]
Q	průtok	[m ³ ·s ⁻¹]
S	plocha	[m ²]
U	elektrické napětí	[V]
V	objem	[dm ³]
d	průměr pístnice pneumatického motoru	[m]
h ₁ , h ₂	zdvih pneumatického motoru	[m]
l	délka	[m]
m	hmotnost	[kg]
p	tlak	[Pa]
p ₀	tlak za jednotkou pro úpravu vzduchu	[Pa]
p ₁	tlak pro napínání	[Pa]
p _r	tlak rozprašování	[Pa]
p _{tz}	tlak zásobníku barvy	[Pa]
t	čas	[s]
v	rychlost	[m·s ⁻¹]

Úvod

Už od dob prvních automobilů a motocyklů chtěl člověk dosahovat stále vyšších rychlostí a lámat rekordy. Z jedné strany řešil, jak dosáhnout co nejvyšší rychlosti a zrychlení, ale na druhou stranu musel být schopen vozidlo bezpečně zastavit. Vývoj umožnil použití stále lepších konstrukcí brzdových systémů. O základních konstrukcích bude pojednáno dále. Se stále vyššími nároky na kvalitu rostly i požadavky na diagnostiku automobilu a jeho jednotlivých částí. Jednou takovou je stav opotřebení brzdových desek. Na starších kotoučových brzdách se stav opotřebení kontroloval pouze vizuálně, popř. se přeměřoval. V dnešní době jsou funkční celky automobilů stále sledovány snímači a diagnostikovány. V historických automobilech se z přístrojové desky prostřednictvím snímačů řidič dozvěděl pouze pár informací – aktuální rychlost, otáčky motoru, teplotu chladicí kapaliny a napětí akumulátoru, případně další. V dnešních vozech má řidič přehled o spoustě dalších informací – hladina paliva v nádrži, hladina motorového oleje, upozornění na otevřené dveře, nedostatek kapaliny ostřikovačů skel, tlak v pneumatikách a desítky jiných. S rozšířením sledovaných stavů a informací přišly na trh také brzdové desky se zabudovaným indikátorem opotřebení.

Má práce se zabývá problematikou indikátorů opotřebení brzdových desek při výstupní kontrole. V práci je obsažen historický vývoj a použití brzdových systémů automobilů. Následovat bude seznámení s návrhy, kde jeden bude rozpracován do formy projektu.

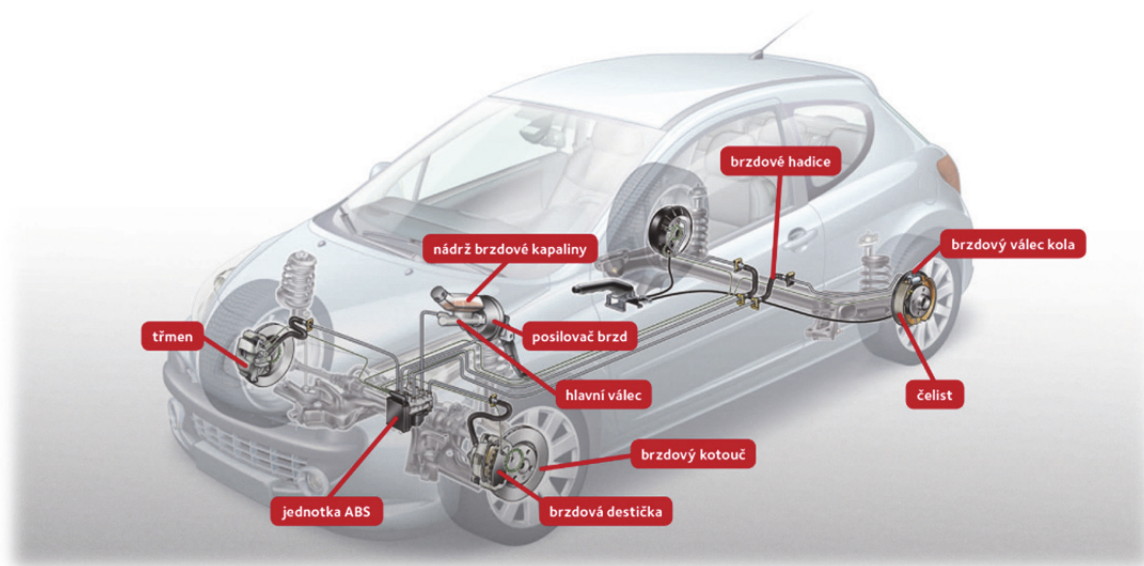
Práci jsem zpracovával ve firmě Interfluid spol. s r.o. pod vedením Dr. Ing. Miroslava Bovy, proto výkresy, schémata a specifikace budou obsahovat razítko a vzhled vedený touto firmou. Zadavatelem je ostravská firma zabývající se výrobou brzdových desek Brembo, kde je zařízení využíváno v provozu.

Chtěl bych podotknout, že rozměry brzdových desek a délky kabelů včetně tolerancí jsou výrobním tajemstvím zadavatele a výkresy s potřebnými údaji byly poskytnuty pouze pro účel výroby potřebných dílů a nastavení parametrů systému firmě Interfluid spol. s r.o. Z výše uvedeného hlediska nejsou tyto parametry v práci uvedeny.

1 Brzdový systém

Brzdová soustava patří mezi prvky aktivní bezpečnosti. Slouží ke zpomalení vozidla nebo k jeho úplnému zastavení. Brzdící účinek je vyvolán zvětšováním odporu tření, čímž se snižuje kinetická energie, která se mění na teplo. Účinek brzd musí být regulovatelný, musí působit optimálním účinkem na všechna kola a při brzdění nesmí vozidlo vychýlit z přímého směru. Provozní brzda je ve většině případů ovládána pravou nohou přes brzdový pedál. Řidič tlačí na brzdový pedál a síla je pomocí kapaliny přenesena až na brzdu kola. Hydraulická brzda může pracovat s tlakem až 18 MPa, což dovoluje, aby komponenty systému byly malé. Aby byla vyvinuta dostatečná síla na brzdový válec bez použití značné síly nohou, je systém vybaven posilovačem brzd. Díky tomu, že kapalinu považujeme za téměř nestlačitelnou a vůle brzd jsou malé, tlak roste rychle a brzdy reagují s okamžitou odezvou.

Jednotlivé prvky brzdové soustavy v automobilu lze vidět na obrázku:



Obr. 1.1 – Brzdový systém osobního automobilu [5]

Ovládání provozních brzd automobilů je hydraulické nebo pneumatické, dříve bývalo také mechanické (pomocí ocelových lanek). V dnešní době lze konstrukce brzd dělit na kotoučové a bubnové. Od bubnových brzd se v poslední době upouští a jsou přítomné pouze na zadní nápravě lehkých, malých a levných vozidel. Z důvodu dosažení vyšší bezpečnosti brzdové soustavy je dnes zapojení koncipováno jako dvouokruhové. Jednookruhový systém se již v dnešní době nepoužívá. Při použití dvou nebo více okruhových systémů se výrazně eliminuje riziko úplného selhání brzdného účinku v případě poruchy jednoho brzdového okruhu.

Dvouokruhové brzdové systémy lze následně rozdělit podle zapojení okruhů na:

- běžné – jeden okruh přední náprava, druhý zadní náprava
- běžné zdvojené – jeden okruh přední a zadní, druhý pouze přední
- diagonální (tzv. křížové zapojení) – jeden okruh pro ovládání brzdy pravého předního kola a levého zadního kola a druhý okruh ovládá brzdu levého předního kola a pravého zadního kola

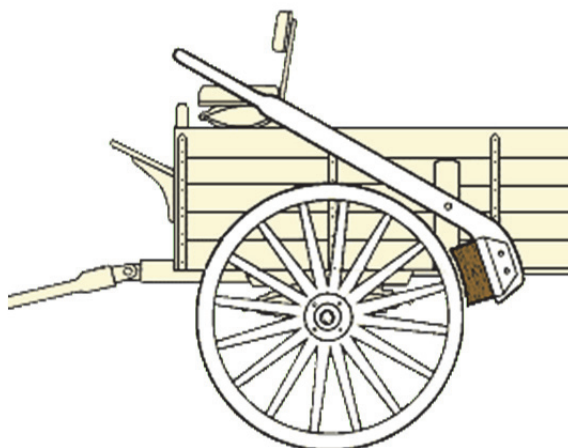
1.1 Parkovací brzdový systém

Zajišťuje vozidlo proti samovolnému pohybu. U osobních automobilů je brzděna zadní náprava. U bubnových brzd je funkce parkovací brzdy zajištěna rozpínacím mechanismem. Pokud je vozidlo vybaveno kotoučovými brzdami na zadní nápravě, je konstrukce složitější pro současnou funkci parkovací brzdy.

2 Vývoj

2.1 Špalíková brzda

Nejstarším typem je špalíková brzda, která se používala hlavně na povozech a kočárech. Později ji převzaly první automobily. Brzdný účinek vzniká přitlačením brzdového špalíku na povrch otáčejícího se kola. Tvar funkční plochy špalíku odpovídá brzděnému protikusu. Dochází k odebrání kinetické energie, která se mění v teplo. Nalézt ji můžeme také u prvních jízdních kol a dodnes se používá u kolejových vozidel, kde je špalek vyroben ze šedé litiny a u novějších vozů se používá kompozitních materiálů.

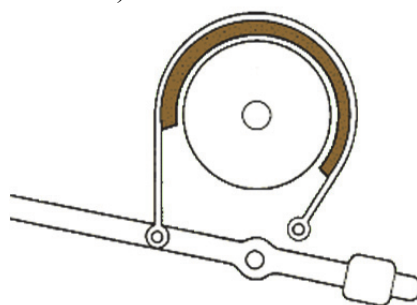


Obr. 2.1 – Špalíková brzda [2]

2.2 Pásová brzda

Tento typ brzdy má jednoduchou konstrukci, kde je kolem rotujícího brzdového bubnu opásán ocelový pás připevněn k brzdové páce. Ocelový pás je většinou s obložením. Pro ovládání stačí poměrně malá síla a dosahuje dobrého účinku. Nevýhodou je snížená možnost odvodu tepla, čímž se brzda lehce přehřeje a ztrácí na účinku. Dalšími zápory této konstrukce je nerovnoměrné opotřebení pásu, a také namáhání hřídele brzdového bubnu na ohyb.

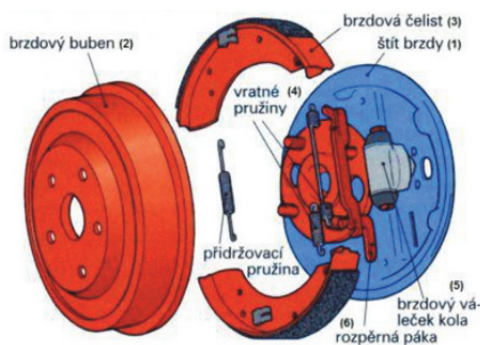
Použití našla spíše u stacionárních zařízení – navíjecí bubny lanových zařízení, jeřáby, motorové pily, převodovky. U motorových vozidel se používala jako parkovací brzda (např. některé typy traktorů).



Obr. 2.2 – Pásová brzda [2]

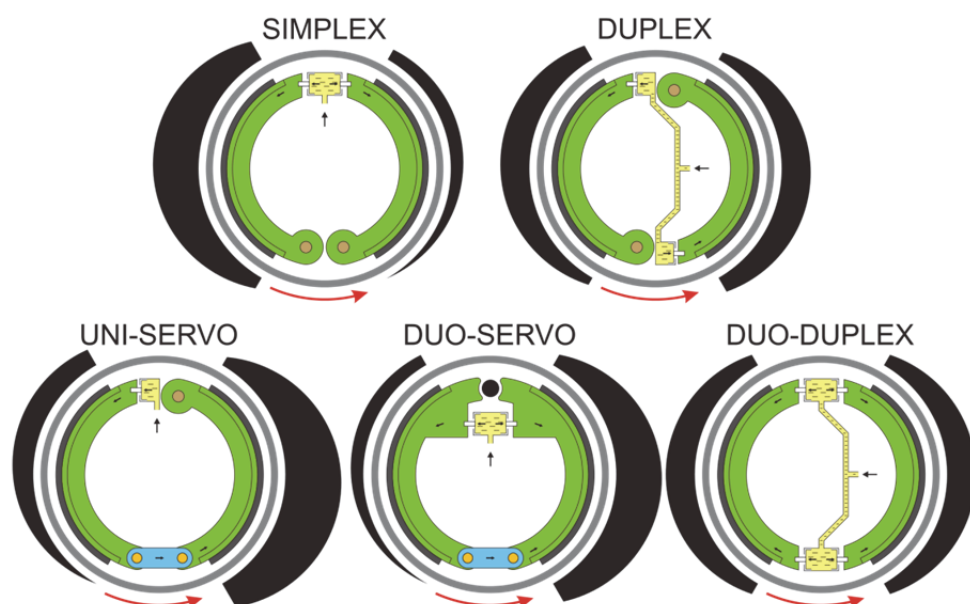
2.3 Bubnová brzda

Konstrukce bubnové brzdy je oproti špalíkové i pásové brzdě mnohem složitější. Skládá se z brzdového bubnu (2), brzdových čelistí s obložením (3), rozpěrného mechanismu (rozpěrná páka pro parkovací brzdu (6) a hydraulický člen (5) – válec s písty pro brzdu provozní), vratných pružin (4) a štítu (1). Při brzdění jsou brzdové čelisti rozpěrným mechanismem přitlačovány na vnitřní plochu bubnu, dojde ke tření a přeměně kinetické energie na energii tepelnou a vzniku brzdného účinku. Buben je pevně spojen s rotující součástí vozidla (nábojem).



Obr. 2.3.1 – Bubnová brzda [3]

Bubnové brzdy můžeme rozdělit dle toho, jestli mají čelisti jeden společný brzdový válec (Simplex) nebo dva, pro každou stranu samostatný (Duplex a Duo-Duplex). Simplex je konstrukčně jednodušší a levnější. Při brzdění jedna čelist na obvod bubnu nabíhá a tato čelist se nazývá náběžná. Protěžší čelist nabíhá proti smyslu otáčení brzdového bubnu a tato se označuje úběžnou čelistí. Náběžná brzdová čelist je třecím momentem přitlačována k bubnu, kdežto úběžná čelist je ze záběru vytlačována a dochází k nerovnoměrnému opotřebení brzdového obložení. K odstranění nežádoucího úběžného jevu byl vyvinut systém Duplex, kde jsou čelisti přitlačovány na obou stranách, čímž v podstatě vznikly dvě náběžné čelisti. Vylepšená verze Duplex, kde jsou čelisti na jedné straně vzájemně spojeny, se označuje jako Servo. Pro lepší názornost přikládám přehled jednotlivých typů konstrukce včetně rozdělení síly při brzdění:

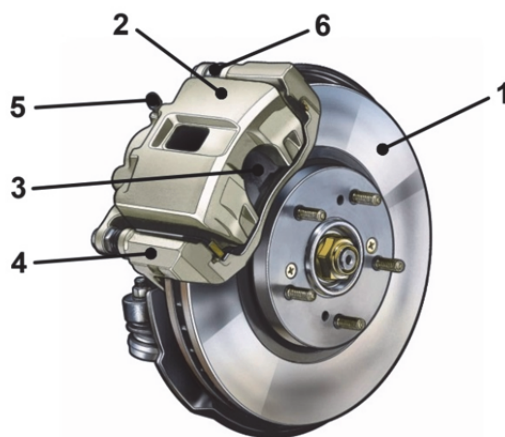


Obr. 2.3.2 – Rozdělení konstrukcí bubnových brzd [4]

Hlavní výhodou bubnových brzd je umístění celého ústrojí brzdy uvnitř bubnu, a tak je chráněno před nečistotami z okolí. Nevýhodou potom může být ztráta brzdného účinku při dlouhém intenzivním brzdění. Vlivem opotřebení brzdového obložení potřebují bubnové brzdy vymezovat vůli. U starších konstrukcí bylo potřeba brzdu rozebrat a vůli nastavit ručně, později se začalo používat bezúdržbového nastavování samostavem. V dnešní době se od bubnových brzd upouští a jsou přítomné pouze na zadní nápravě lehkých, malých a levných vozidel. Stále je však využívána u strojů v těžkých pracovních podmínkách (například zemědělské a lesnické stroje) z hlediska odolnosti proti nečistotám.

2.4 Kotoučová brzda

Nejmodernější konstrukcí brzd je kotoučová. Oproti bubnové je jednodušší: skládá se z brzdového kotouče (1) spojeného s nábojem kola, brzdového třmenu (2) s výměnnými brzdovými deskami (3) a zařízením, které zabraňuje vypadnutí brzdových desek ze třmenu (4). V horní části třmenu se nachází odvzdušňovací ventil (5). Principem je přitlačování brzdových desek kolmo na rotor. Po sešlápnutí brzdového pedálu působí hydraulická kapalina na brzdový píst a ten na desky. První kotoučové brzdy byly v provedení s tzv. pevným třmenem, kde jsou na obou stranách třmenu umístěny písty. Těleso třmenu je nepohyblivé a při brzdění dojde k přitlačení obou brzdových desek ke kotouči. Pozdější konstrukce se zjednodušila na provedení s jedním pístem a třmenem s plovoucí polohou. V tomto případě je třmen umístěn posuvně ve směru osy kotouče pomocí čepů (6) v pevném držáku (4). Píst na vnitřní straně přitlačuje brzdovou desku na brzdový kotouč a reakční síla posouvá těleso třmenu, které přitlačí i druhou brzdovou desku ke kotouči na opačné straně. U sportovních vozů či motocyklů se používají dvou nebo čtyř pístové provedení brzdových třmenů.



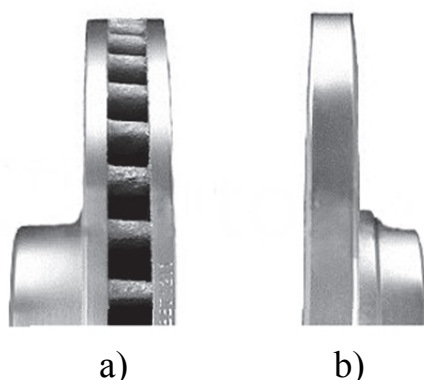
Obr. 2.4.1 – Kotoučová brzda [4]

Vracení pístů

Těsnění brzdového pístu má čtvercový průřez. Jak se píst pohybuje dovnitř a ven, těsnění se stlačuje a natahuje, což vede ke kroucení. Deformace je v řádech desetin milimetrů. Píst po vysunutí zdeformuje těsnění a po uvolnění brzdového pedálu se těsnění vrací do původní polohy a vtáhne zpět i píst. Proto není potřeba vratných pružin. Při sjíždění brzdových desek i kotoučů dochází k povysunutí pístu. Malý tah způsobený těsněním však nedovolí pístu zajet do původní polohy (úplného zasunutí).

Brzdové kotouče

Brzdový kotouč může být plné konstrukce nebo v dutém provedení, kde jsou radiálně uspořádané kanály a při proudění vzduchu dochází k ochlazování kotouče a lepšímu odvodu tepla. U sportovních vozů mohou mít kotouče navíc axiálně vrtané otvory pro ještě lepší efekt chlazení. Také se vyskytují kotouče, které mají na třecí ploše vytvořené drážky přesně definované hloubky. Tyto drážky umožňují vizuální kontrolu opotřebení kotouče, ale také zlepšují jeho samočisticí schopnost a urychlují zaběhnutí brzdových desek.




Obr. 2.4.2 – Rozdělení brzdových kotoučů [3]

a – vnitřně chlazený, b - jednoduchý

Výhodou oproti bubnovým brzdám je stálý brzdný účinek i při dlouhodobém intenzivním brzdění díky otevřenosti, což vede k lepšímu odvodu tepla. Na druhou stranu jejich výroba je dražší a tím, že jsou otevřené, také náchylnější na poruchy vzniklé nečistotami. Výměna brzdových desek je jednodušší než výměna brzdových čelistí u bubnových brzd, i když z hlediska opotřebení déle vydrží čelisti bubnových brzd.

Brzdové desky

Brzdové desky jsou navrženy tak, aby vlivem přitlačení ke kotouči vznikalo velké tření, způsobující brzdný účinek. Desky bývaly dříve vyráběny z azbestu, který se přestal používat kvůli své toxicitě. Dnes jsou to směsi, které mohou obsahovat například oxidy železa nebo hliníku, měď, aramidová vlákna, grafit a pryskyřice. Při návrhu brzd je nutná správná volba desek. Ty se liší teplotní zátěží a tvrdostí, kde měkčí jsou agresivnější a určeny pro sportovní užití, kdežto tvrdší mají vyšší trvanlivost a jsou určeny pro běžný provoz. Teplotní odolnost je v základu navrhována na cca 800°C.

Brzdové desky mohou obsahovat indikátor opotřebení, který včas upozorní řidiče, že nastala doba na výměnu. Stav opotřebení lze kontrolovat vizuálně, mechanicky – ocelový plech na brzdové desce po sjetí obložení na minimální hodnotu začne škrábat do kotouče a způsobuje hluk. Poslední možností je elektrické čidlo. Po obroušení třecí plochy na minimální hodnotu dojde ke kontaktu vodiče senzoru s kotoučem, uzavře se elektrický obvod a dojde k rozsvícení kontrolky  na palubní desce, případně doprovázené hláškou na displeji. Tím je řidič upozorněn, že brzdové desky dosáhly své minimální hodnoty a je nutné je v nejbližší době vyměnit za nové. Standardní bezpečný dojezd s deskami po rozsvícení kontrolky se uvádí 1 000 km, někdy více – záleží na automobilu a je nutné se řídit pokyny v manuálu či pokyny servisu. Samotný senzor opotřebení může být integrován přímo do brzdové desky nebo je uchycen na třmenu. Kabel s konektorem senzoru opotřebení je vystaven vnějším vlivům, a proto musí být odolný a konektor by měl být ve vodotěsném provedení.



Obr. 2.4.3 – Brzdová deska s indikátorem opotřebení [1]

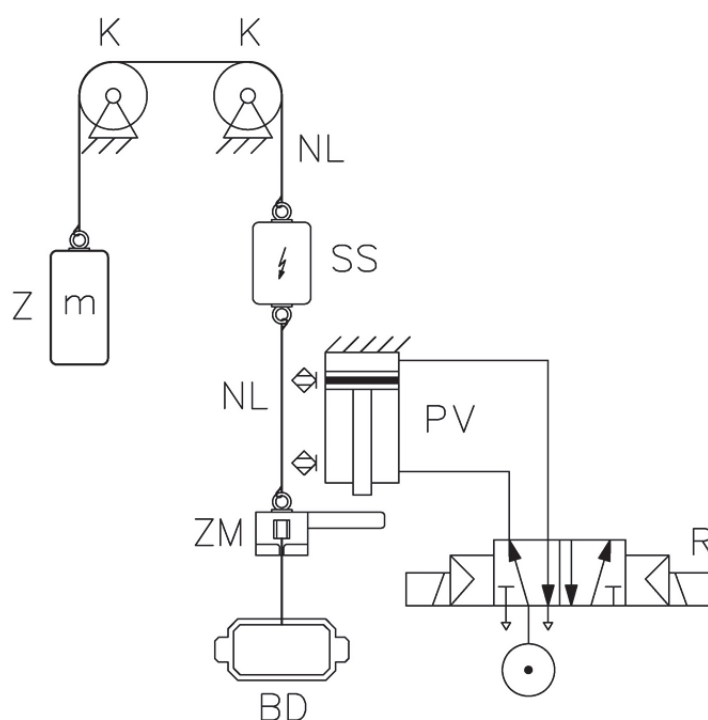
3 Testovací zařízení

Brzdové desky Brembo se snímačem opotřebení podléhají přísné výstupní kontrole. Obsluha kontroluje vizuální stav, sériová čísla, čárové kódy a navíc provádí i trhací zkoušku kabelu senzoru. Jedná se o krátkodobé zatížení kabelu silou 80 N, při které nesmí dojít k vytržení z brzdové desky nebo jinému poškození. Další podmínkou je délka kabelu, která musí být v předepsané toleranci.

Řídicí systém musí být schopen automaticky vyhodnotit testování dané desky. Zařízení musí být univerzální pro tři typy brzdových desek, které se liší tvarem i délkou kabelu.

Tester se vyráběl pro ostravskou firmu, kde bude sloužit v provozu. Kromě trhací zkoušky a měření délky zadavatel také požadoval vizuální odlišení vadných kusů od dobrých a navíc zabezpečit, aby se špatné kusy shromažďovaly na jedno místo, nepoškodily se a nepovolané osoby se k nim nemohly dostat.

Při návrhu si bylo třeba uvědomit, jak bude samotné zkoušení probíhat. Na schématu níže lze vidět princip zařízení:



Obr. 3.1 – Princip zkoušení

BD – brzdová deska, ZM – závěsný mechanismus, NL – nerezové lano, SS – snímač síly, K – kladka, Z – závaží, PV – lineární pneumatický válec, R – rozváděč

Brzdová deska s kabelem bude pevně umístěna v držáku a konektor bude zaháknut za závěsný mechanismus. Při zahájení testování se zasune pneumatický válec a závaží bude prostřednictvím nerezového lana kabel tahat. Požadovaná síla je daná hmotností závaží a zpětně bude snímána snímačem síly. Pro uvolnění testovaného kusu se zpětný válec vysune.

3.1 Varianty

Konstrukce celého zařízení musí být pevná a mobilní pro možnost poježdění po pracovišti. Pro napínací systém se nabízí více variant pohonu:

- závaží na nerezovém laně
- bezpístnicový lineární pneumomotor
- elektrický lineární pohon s kuličkovým šroubem
- použití dvou lineárních pneumomotorů

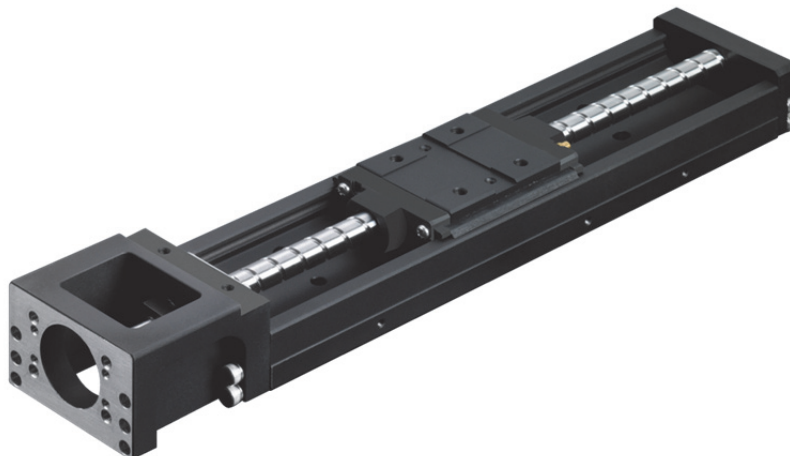
Použití závaží na ocelovém laně je nejjednodušší a nejlevnější varianta, ale nenabízí následnou změnu zatěžující síly bezdemontážním způsobem. Navíc je nerezové lano neustále napnuté, i když zrovna neprobíhá test.

Bezpístnicový lineární pneumomotor je jednoduché řešení. Závěsný mechanismus by byl upevněn rovnou na jezdce motoru. Zdvih tohoto typu se pohybuje od 1 mm až po několik metrů. Odměřování síly by v tomto případě muselo být realizováno tlakovým snímačem. Problémem je však vyšší cena a použití těchto motorů není u takovýchto aplikací běžné.



Obr. 3.2 – Bezpístnicový lineární pneumomotor [6]

Elektrický lineární pohon může být realizován více způsoby. Jedním z nich je použití kuličkového šroubu hnaného krokovým elektromotorem. Upevnění konektoru testovaného kusu by bylo obdobné jako u předchozího případu. Problémem je regulace posuvné síly a velmi vysoká cena.



Obr. 3.3 – Lineární pohon bez motoru [7]

Posledním řešením zbývá použití dvou klasických pneumomotorů s pístnicí. Tyto jsou běžně dostupné, levné, zdvih lze vyrobít na míru a je u nich jednoduchá regulace rychlosti a síly. Jediným problémem je vyřešení uchycení konektoru indikátoru na pístnici motoru.



Obr. 3.4 – Dvojčinný pneumatický válec Festo řady DSBC [8]

Je nutné rozhodnout, kterou koncepci pohonu použít. K tomu je nutné zvolit určitá kritéria. Pro srovnání navrhuji tato kritéria:

- Pořizovací cena
- Spotřeba energie
- Složitost zařízení
- Změna napínací síly
- Údržba

Každé kritérium je hodnoceno body na stupnici 1-5. U každého kritéria je již uvažován součinitel váhy kritéria. Výsledky hodnocení lze vidět v tabulce níže:

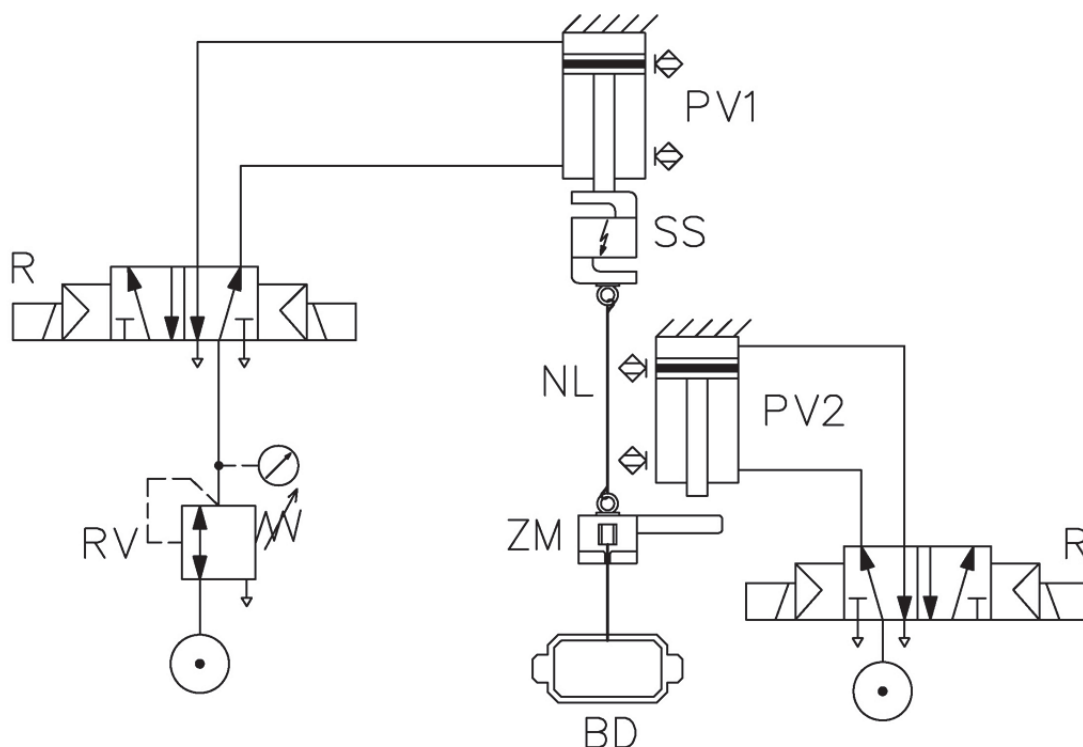
Kritérium	Závaží na nerezovém laně	Bezpečnostní lineární pneumomotor	Elektrický lineární pohon	Dva lineární pneumomotory
Pořizovací cena	4	2	1	3
Spotřeba energie	3	2	3	3
Jednoduchost zařízení	4	2	2	3
Změna napínací síly	1	4	1	5
Údržba	4	4	3	4
Celkem	16	14	10	18

Tab. 3.1 – Hodnocená kritéria pro jednotlivé varianty

Jak lze vidět z tab. 3.1, nejvíce bodů získalo řešení s dvěma pneumatickými motory. Je to ideální varianta hlavně z hlediska pořizovací ceny, zástavného prostoru a hlavně regulace síly. Pneumatický systém je také další výhodou vzhledem k oboru studia.

4 Návrh pneumatického systému

Předběžný návrh funkce při použití dvou pneumomotorů lze vidět na schématu:



Obr. 4.1 – Princip zkoušení při použití dvou pneumomotorů

BD – brzdová deska, ZM – závěsný mechanismus, NL – nerezové lano, SS – snímač síly, PV1 – lineární pneumatický válec pro napínání, PV2 – lineární pneumatický válec pro návrat, R – rozváděč, RV – redukční ventil

Jeden z požadavků zadavatele je volba pneumatických prvků od firmy Festo a použití válců běžné velikosti. Proto volím motory Festo řady DSBC s průměrem pístu $D = 32 \text{ mm}$ a zdvihem $h_1 = 100 \text{ mm}$. Nyní je nutné spočítat tlak na mezikruží nutný k napnutí kabelu snímače opotřebení silou $F = 80 \text{ N}$.

4.1 Výpočet tlaku pro napínání

Pracovní tlak p_1 pro napínací válec je nutné dopočítat a následně nastavit redukčním ventilem. Toto není obvyklé – většinou známe pracovní tlak a zatěžující sílu a následně navrhujeme průměr pístu. Výpočet tlaku:

$$p_1 = \frac{F}{S} \quad (4.1.1)$$

Po úpravě získáme:

$$p_1 = \frac{4 \cdot F}{\pi \cdot (D^2 - d^2)} \quad (4.1.2)$$

Vzhledem k účinnosti motoru a třecím ztrátám sílu navyšuji o 20%:

$$p_1 = \frac{4 \cdot F}{\pi \cdot (D^2 - d^2)} = \frac{4 \cdot 80 \cdot 1,2}{\pi \cdot (0,032^2 - 0,012^2)} = 0,139 \text{ MPa}$$

Vypočtený tlak je docela malý oproti vstupnímu tlaku v síti 0,6 MPa. Vzhledem k dosažení napínací síly s přesností ± 2 N bude nutné použít přesný redukční ventil, který pracovní tlak automaticky udržuje na požadované hodnotě s velmi vysokou přesností a opakovatelností.

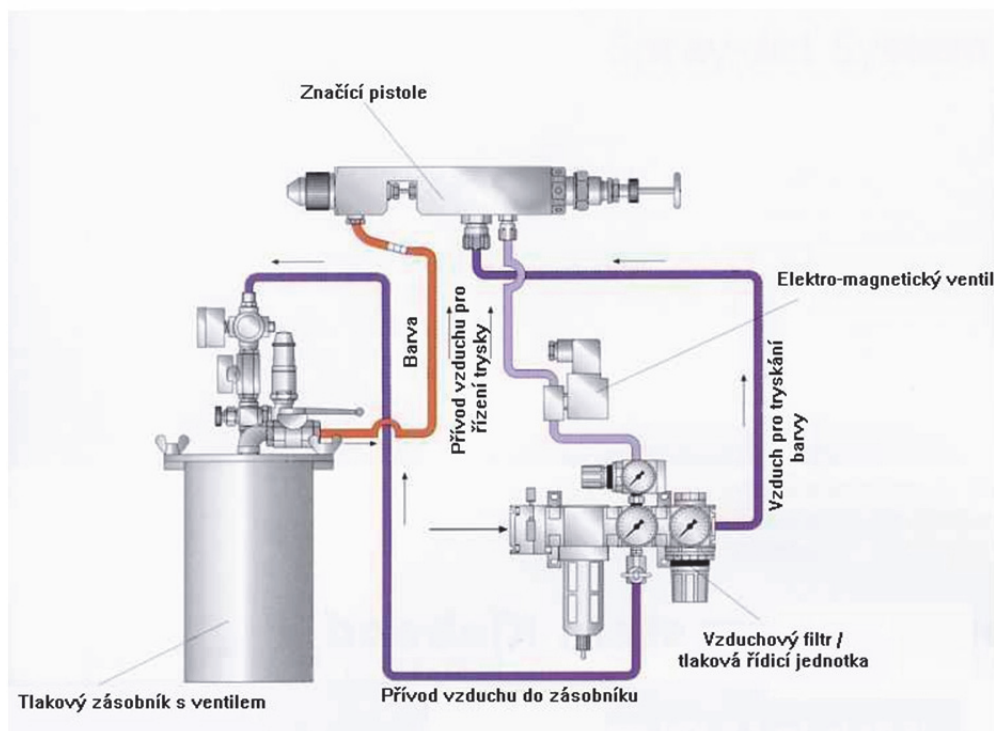
4.2 Vadné kusy

Brzdové desky, které nevyhoví testovaným kritériím, je nutné uskladnit na místo nepřístupné nepovolaným osobám. Proto bude na zařízení umístěn kontejner pro vadné kusy, do kterého se desky vhodí přes otvor v horní desce. Způsob vhazování musí být upraven tak, aby se desky vzájemně nepoškodily, protože je většina vadných kusů opravitelná. Otvor bude opatřen posuvnou záklopkou, která bude ovládána pneumomotorem s průměrem pístu $D = 32$ mm a zdvihem $h_2 = 40$ mm.

4.3 Bezkontaktní systém značení

Součástí pneumatického systému bude i systém bezkontaktního značení Spray-Jet. Jedná se o kompaktní značicí systém, který ke značení používá stlačený vzduch.

Jednoduchá konstrukce má proti systémům navrženým na základě INK jet technologie řadu výhod, zejména minimální nároky na údržbu – tzn., že při delších intervalech mezi značicími cykly se u tohoto systému neseťkáte se zasycháním inkoustu. Inkoust je uložen v tlakovém zásobníku. Stříkácí pistole je řízena pneumaticky v kombinaci s elektromagnetickým řídicím ventilem, který otevře trysku stříkácí pistole. Inkoust je poté pod tlakem ze stříkácí pistole vystříknut na požadované místo. Princip lze názorně vidět na funkčním schématu:



Obr. 4.3 – Funkční schéma Spray-Jet systému [10]

Tlakový zásobník

Inkoust je uložen v 4 litrovém tlakovém zásobníku s odnímatelným víkem vyrobeným z pozinkované oceli. Na víku je již nainstalováno nezbytné pneumatické vybavení pro provoz – redukční ventil s manometrem, pojistný ventil a uzavírací kohouty.

Objem	4 dm ³
Přípustný pracovní tlak	0,4 MPa
Vnější průměr	222 mm
Celková výška	450 mm



Stříkácí pistole PILOT Signier 20 360

Těleso pistole je z poniklované mosazi, trysky a jehly jsou z ušlechtilé nerezové oceli. Pistole má porty pro připojení barvy, tlaku rozprašovacího a řídicího tlaku. Po výměně tryskového setu (vzduchové hlavy, materiálové trysky a jehly) lze značit ve tvaru kruhu nebo širokým paprskem.

Rozměry	24×24×194 mm
Hmotnost	500 g



Výhody značicího systému Spray-Jet:

- stříkácí pistole je schopná značit v jakékoli poloze
- jednoduchá obsluha
- minimální údržba – při odstavení systému až na 7 dní odpadá nutnost čištění celého systému
- malý rozměr a nízká hmotnost stříkácí pistole umožní její zabudování do míst s omezeným prostorem
- jeden systém je možno rozšířit až o 10 stříkacích pistolí (záleží na podmínkách)
- spolehlivost – jednoduchá konstrukce zaručuje spolehlivý provoz
- nízké provozní náklady

Provoz systému

Pro správnou funkci je nutné dodržet pracovní tlaky jednotlivých prvků. Vzhledem k použitému inkoustu bylo dodavatelem doporučeno systém provozovat s těmito tlaky:

Tlakový zásobník	$p_{tz} = 0,08 \text{ až } 0,1 \text{ MPa}$
Tlak rozprašování	$p_r = 0,2 \text{ MPa}$
Tlak řídicí	$p_0 = 0,5 \text{ MPa}$

Také je nutné stanovit čas přestavení 3/2 elektromagnetického rozváděče. Po doporučení a testování jsme řídicí impuls stanovili na 40 ms.

5 Funkční schéma a specifikace prvků

Když jsem znal hlavní prvky, mohl jsem vytvořit funkční schéma a kompletní specifikaci prvků. Funkční schéma je přílohou B a specifikace prvků přílohou C této práce. Jak bylo psáno v úvodu, tyto dokumenty byly vytvořeny ve firmě Interfluid spol. s r.o., a proto obsahují razítko a vzhled vedený firmou a jednotky běžně používané v technické praxi.

5.1 Popis funkce

Obvod má na vstupu jednotku pro úpravu stlačeného vzduchu 1, kde dojde k filtraci, odloučení kondenzátu a regulátorem lze nastavit tlak vzduchu v systému. Tlakový vzduch se však do systému dostane až po otevření odvětrávacího ventilu 2. Ovládání celého zařízení bude elektropneumatické. Ve výchozím stavu jsou všechny válce vysunuty. Po zahájení testu se zpětný válec 4.2 zasune do koncové polohy a napínací válec 4.1 přes nerezové lanko napne kabel čidla silou nastavenou redukčním ventilem 3. Pokud je test úspěšný, tryska 9 značícího systému stříkne zelenou značku, válce se vrátí do výchozí polohy a je možné testovat další kus. Když naopak dojde k vytrhnutí čidla z brzdové desky, napínací válec 4.1 dojde na koncový spínač SP1a. Vadný kus je neznačen. V tomto případě se válce sice vrátí do výchozí polohy, ale zasune se válec záklopky 5 a je nutné vadný kus vhodit otvorem do kontejneru, jinak nebude umožněno další testování. Kontrolu vhození vadné desky otvorem obstarává indukční snímač. Po vhození vadného kusu do otvoru indukční snímač zaregistruje průlet desky a záklopka se uzavře. Zařízení je připraveno k testování dalšího kusu. Válce jsou ovládány pomocí bistabilních 5/2 rozváděčů 6a, 6b a 6c. Bezdotykový značící systém se skládá z tlakové nádoby s barvou 8, trysky 9 a solenoidového ventilu 7, který dává 40 ms impuls pro stříknutí barevné značky.

5.2 Použité prvky

Jak již bylo psáno na začátku, zadavatel požadoval pneumatické prvky firmy Festo. Proto jsou válce a rozváděče od tohoto výrobce. Značící systém byl dodán včetně jednotky pro úpravu vzduchu, která byla použita pro celý obvod. Taktéž byl součástí i řídicí rozváděč pro stříknutí barevné tečky. Bylo nutné ještě doobjednat redukční ventil pro snížení rozprašovacího tlaku.

Podrobné schéma tlakového zásobníku dodavatel neposkytl, proto je na funkčním schématu zásobník zakreslen zjednodušeně pouze s prvky, se kterými je možno manipulovat. Zařízení je vybaveno Total Stop tlačítkem, které po stisknutí odvzdušní celý obvod. Zde nastal problém odvzdušnění tlakového zásobníku s barvou. Ten totiž po odpojení tlakového vzduchu zůstal pod tlakem a musel být odvzdušněn pouze ručně kulovým kohoutem. V případě poškození hadice s barvou by tak barva chvíli unikala i po vypnutí Total Stop tlačítkem. Proto jsem po konzultaci s dodavatelem systém dovybavil solenoidovým ventilem 2/2 (poz. 11). Zde nastal problém, protože tento ventil jsem u výrobců vždy našel pouze v provedení normal close. Variantu normal open nabízel pouze slovinský výrobce Jakša.

Ve specifikaci není uvedeno: šroubení, přechodky, T-kusy, patky, koncové spínače apod. Jedná se o standardní šroubení se závity dle prvků (zejména G1/8" a G1/4") s nástrčným připojením pro hadici. Hadice je použita polyuretanová Ø 6/4 v modré barvě. Pro řízení rozváděče značícího systému je použita hadice menší světlosti Ø 4/2.

6 Snímač síly a dráhy

Aby byly splněny požadavky zadavatele, musí být zařízení vybaveno snímači pro zpětnou vazbu. Jedná se o snímač síly, který bude použit pro záznam a zobrazení napínací síly na displeji. Dále je nutné použít snímač dráhy kvůli vyhodnocení délky kabelu snímače.

6.1 Snímač síly

Snímače síly pracují na dvou základních principech:

- 1) Piezoelektrický jev
- 2) Deformace měrného tělíska

Ad 1) Piezoelektrický jev

Piezoelektrický jev je schopnost krystalu generovat elektrické napětí při jeho deformování. Nejznámější piezoelektrickou látkou je monokrystalický křemen. Zjednodušeně lze říci, že plochy krystalu propojíme vodičem. Při zatížení se na ploše krystalu objeví elektrický náboj – ten vyvodí pohyb volných elektronů ve vodiči.

Tím se vytvoří elektrický proud. Hlavní nevýhodou je, že po vyrovnání náboje pohyb elektronů ustane. Tyto snímače tedy neměří statické zatížení.

Výhody:

- miniaturní provedení i pro velké síly
- velká tuhost
- přetížitelnost
- změnou rozsahu zesilovače lze měřit i malé síly vůči rozsahu snímače

Nevýhody:

- obtížné využití pro statické zatížení
- pro tah jen speciální provedení snímače
- nutná speciální elektronika a kabeláž

Z těchto poznatků je již jasné, že snímač síly založený na piezoelektrickém jevu je pro aplikaci do tohoto zařízení nepoužitelný, zejména z hlediska potřeby měření tahu.

Ad 2) Deformace měrného tělíska

Snímače síly založené na deformaci lze použít pro měření tahu i tlaku. Působením síly na těleso dojde k jeho deformaci, která se následně měří pomocí tenzometrů. Vyrábí se široká škála rozsahů od jednotek N až po MN. Přesnost se pohybuje od 0,03 % do 1 %.

Výhody:

- měří tahové i tlakové síly
- měří statickou hodnotu síly
- široký výběr typů, rozsahů a kotvení

Nevýhody:

- citlivost na boční síly
- malá přetížitelnost (150 %)
- nižší tuhost celku

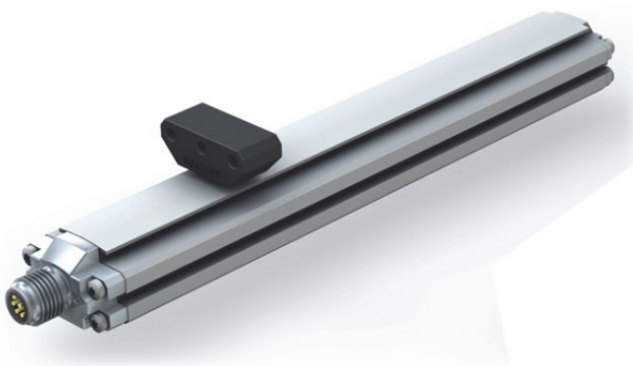
Tento typ je pro tuto aplikaci vhodný vlastnostmi a způsobem uchycení přišroubováním na pístnici. Konkrétní model doporučili elektrikáři a jedná se o Zemic H3 se zatížitelností 100 kg.



Obr. 6.1 – Tenzometrický snímač síly [11]

6.2 Snímač dráhy pohybu

Pro vyhodnocení tolerance délky kabelu snímače je nutné snímat polohu vůči pevně uchycené brzdové desce. K tomuto účelu je vhodné lineární odměřování Micropulse od firmy Balluff. S produkty tohoto výrobce má firma dobré zkušenosti. Výstupní signál s vysokým rozlišením slouží jako absolutní signál pro řídicí jednotky s širokým rozsahem různých rozhraní. Po schválení bezproblémového připojení do řídicí elektroniky testovacího zařízení elektrikáři jsme snímač objednali. Navíc díky bezkontaktnímu principu činnosti systému je zajištěn provoz bez opotřebení. Konkrétní model je BTL6-A500-M0100-PF-S115 s napěťovým výstupem $U = 0\text{--}10\text{ V}$ a délkou $l = 100\text{ mm}$.



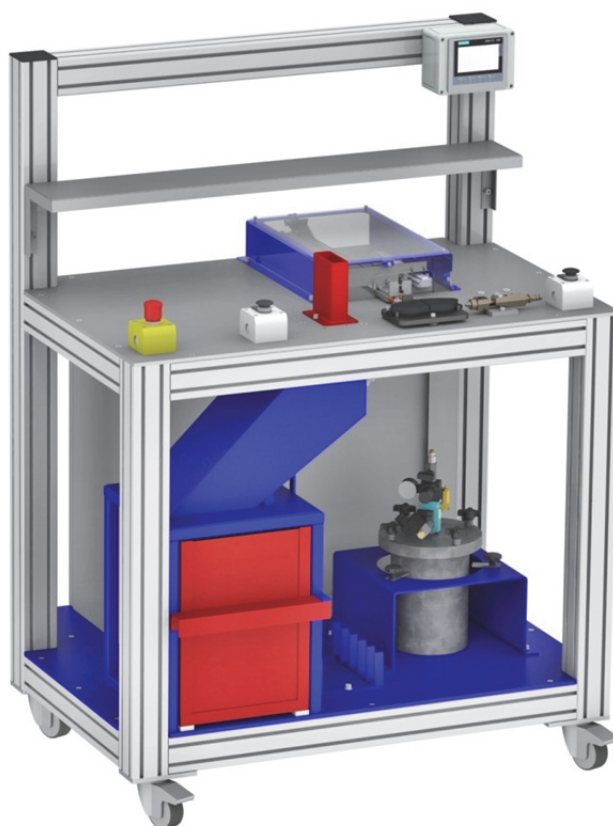
Obr. 6.2 – Snímač dráhy pohybu Balluff [12]

7 Konstrukční návrh zařízení

Nyní je znám celý pneumatický systém a snímače pro zpětnou vazbu. Proto jsem mohl začít tvořit model zařízení. Je vhodné připomenout požadavky zadavatele:

- pevná konstrukce na kolečkách s brzdou
- testování třech typů brzdových desek
- jednoduchá obsluha
- zobrazení a možnost záznamu velikosti síly a změřené délky
- možnost regulace síly
- vizuální rozlišení dobrých kusů od vadných
- vadné desky shromažďovat na místo nepřístupné nepovolaným osobám
- funkčnost v mírně prašném prostředí
- bezpečnost obsluhy

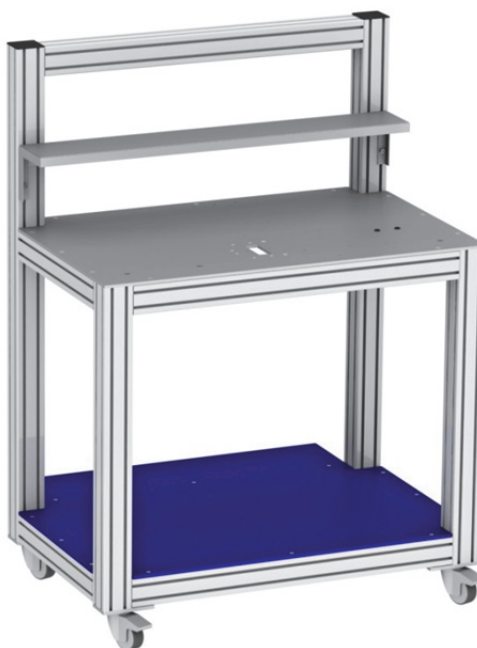
Hned ze začátku kapitoly přikládám render konečného zařízení v celku. Následovat bude rozebrání nejpodstatnějších částí zařízení, což je pro znázornění principu dostatečné. Pokud máte zájem o bližší prozkoumání, otevřete model sestavy nebo požadovaného dílu z CD v příloze práce.



Obr. 7.1 – Zkušební zařízení

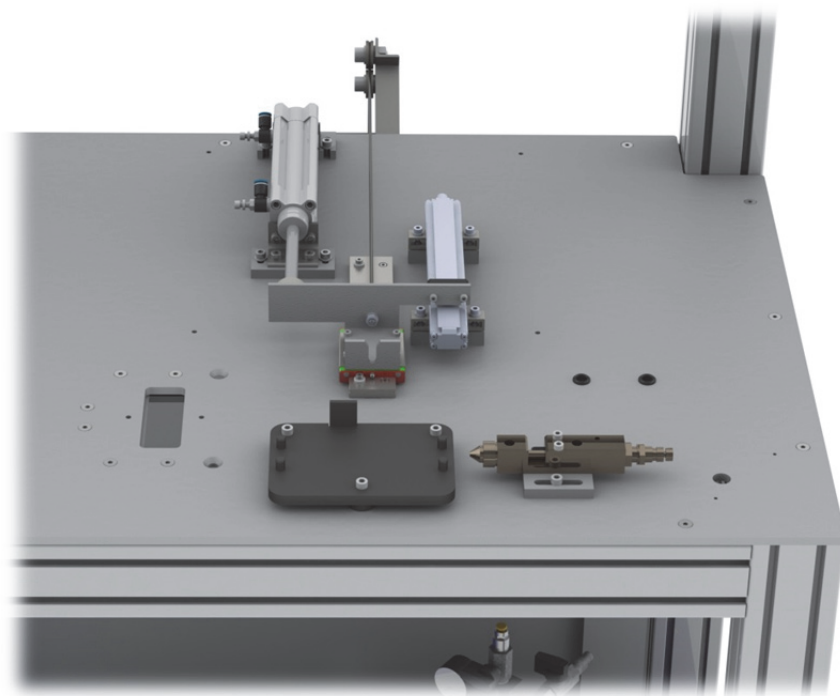
Základní rám je sestaven z hliníkových profilů 80×80 mm. Ty jsou vyrobeny protlačováním a jsou opatřeny drážkami, které umožňují použití spojovacích, upevňovacích nebo pohyblivých prvků. Prvním stěžejním problémem byla vhodná volba výšky pracovního stolu z hlediska ergonomie. Dle doporučení by se výška pracovní desky pro obsluhu pracujících ve stoje měla pohybovat v rozmezí 95–105 cm. Zařízení budou obsluhovat muži i ženy různého vzrůstu, proto jsem zvolil hodnotu 100 cm.

Pracovní a spodní deska je z ocelového plechu tloušťky 8 mm. Desky byly vyřezány laserem na přesný tvar včetně všech otvorů a děr. Na zadních hliníkových profilech je uchycena odkládací police. Celá konstrukce je na čtyřech otočných kolečkách, kde přední jsou vybavena brzdou.



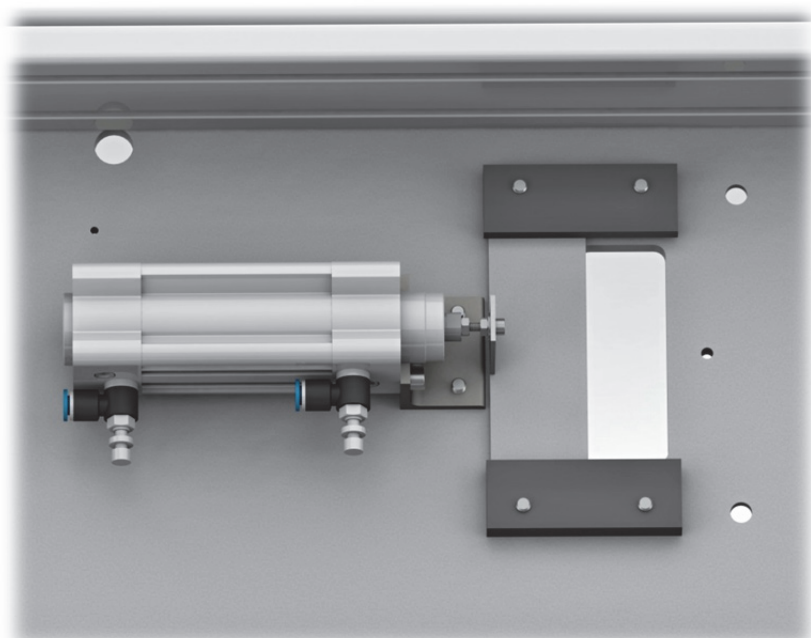
Obr. 7.2 – Základní konstrukce zařízení

Na pracovní desce je umístěna matrice pro uchycení brzdové desky. Ve správné poloze desku drží kolíky, což umožňuje i jednoduchou obsluhu. Závěsný mechanismus pro zaháknutí konektoru zkoušeného kusu je umístěn na lineárním vedení, což zajišťuje tah vždy přímým směrem, kolmo k brzdové desce a s minimálním odporem. Na vozík vedení je napojeno nerezové lano, které vede přes rolnu do skříně, kde je umístěn napínací pneumomotor. Zpětný pohyb je zajištěn druhým motorem na horní desce. Pístnice tohoto motoru je opatřena válcovým dorazem ze silonu, který tlačí do ramene závěsného mechanismu. Motor lze na patkách posouvat dopředu a dozadu vůči lineárnímu vedení pro jednoduché ustavení. Na pravé straně se nachází lineární odměřování. Rozlišení dobrých kusů od špatných bude prováděno zelenou značkou na bok brzdové desky bezkontaktním systémem značení.



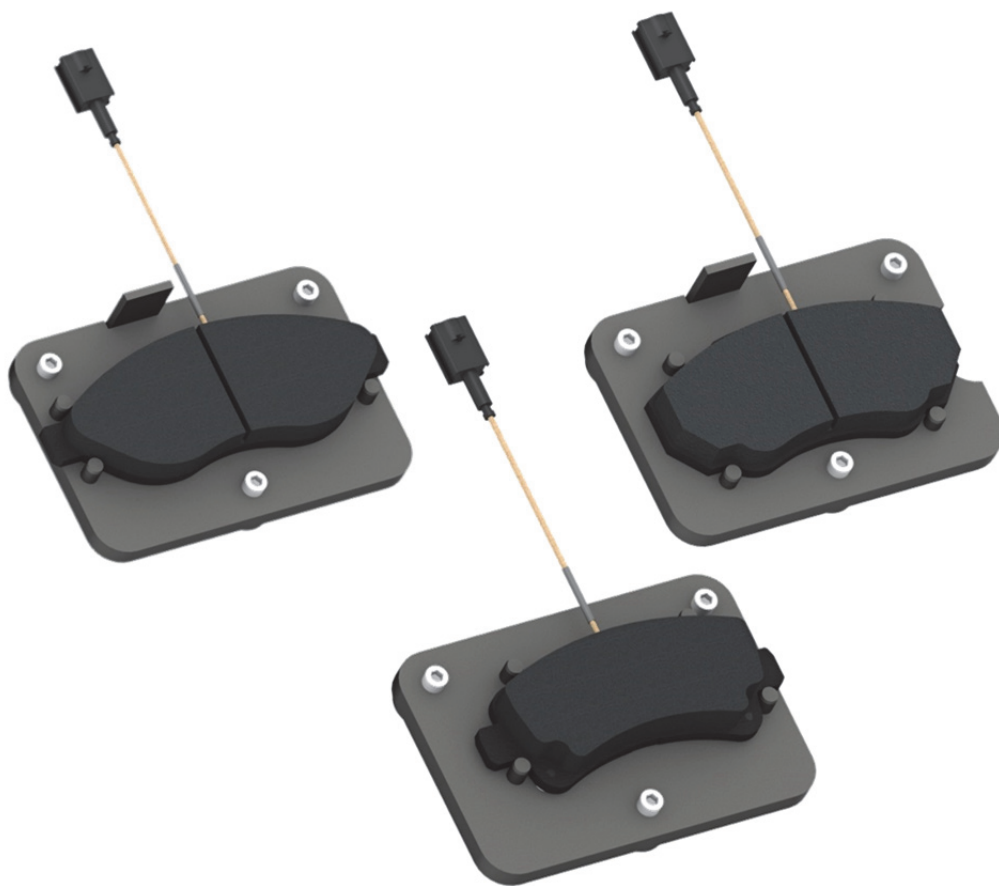
Obr. 7.3 – Pohled na pracovní desku

V levé části je otvor, kterým se budou vhazovat špatné kusy do kontejneru umístěným na spodní desce. Tento otvor je zakryt posuvnou záklopkou, která je ovládána pneumatickým válcem se zdvihem $h_2 = 40$ mm. Vedení záklopy je kluzné z plastu.



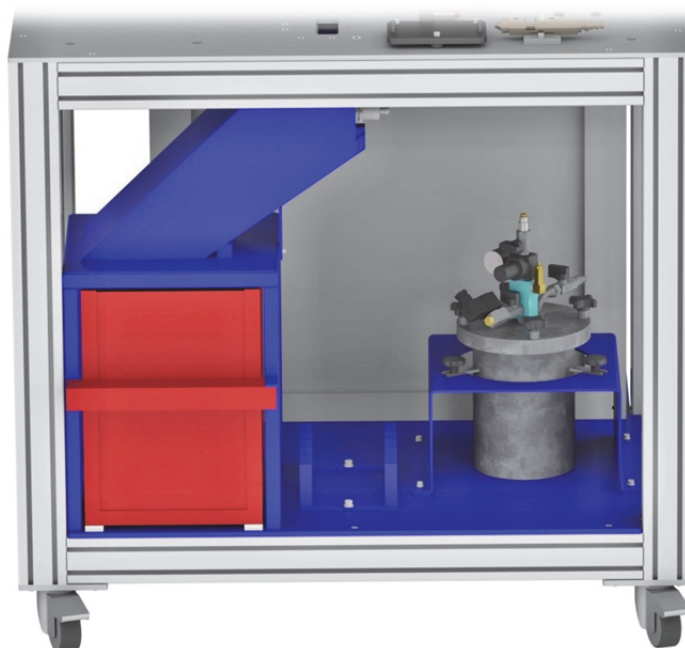
Obr. 7.4 – Pohled na princip záklopy

Zadavatel požaduje testování třech typů brzdových desek, které se liší jak tvarem, tak délkou kabelu snímače. Proto se musí vyrobit tři kusy matric pro snadnou přípravu zařízení na jiný typ. Při změně testovaného typu se tedy vymění matrice a v uživatelském rozhraní systému se vybere příslušný typ desky.



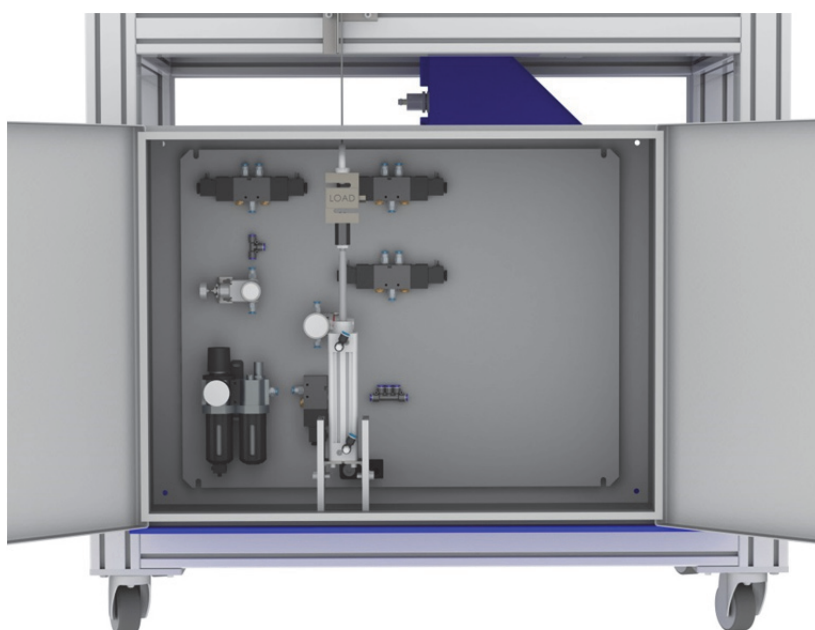
Obr. 7.5 – Matrice s jednotlivými brzdovými deskami

Na spodní polici se nachází rozvodná skříň, tlakový zásobník na barvu, odkládací místo pro matrice a kompletní systém pro vadné kusy. Ten sestává ze skluzu a kontejneru. Aby nedošlo k poškození vhozených desek, je skluz proveden pod úhlem, který je dostatečný na to, aby desky vždy sjely až do boxu. V horní části skluzu lze vidět indukční snímač, který zaznamenává, zda byla brzdová deska otvorem opravdu vhozena. Kontejner lze vyjmout a vadné kusy vybrat pro další zpracování. Pro jednodušší manipulaci je pod kontejnerem umístěno kluzné vedení. Pro zamezení manipulace s kontejnerem nepovolaným osobám jej lze zabezpečit visacím zámekem. Pro snadnější manipulaci při doplňování barvy lze tlakový zásobník ze spodní police vyjmout po povolení třech šroubů s plastovou hlavou.



Obr. 7.6 – Pohled na spodní polici

Veškeré elektrické a pneumatické vybavení stroje je ukryto v rozvodné skříni (na renderu níže je zobrazeno pouze pneumatické vybavení bez hadic). Nachází se zde veškeré regulační a řídicí pneumatické prvky včetně jednotky pro úpravu vzduchu. Pravá část je vyhrazena elektro vybavení. Tato část nebude v práci podrobně rozváděna, protože se jedná o docela sofistikovaný systém, kterým byli pověřeni elektrikáři.



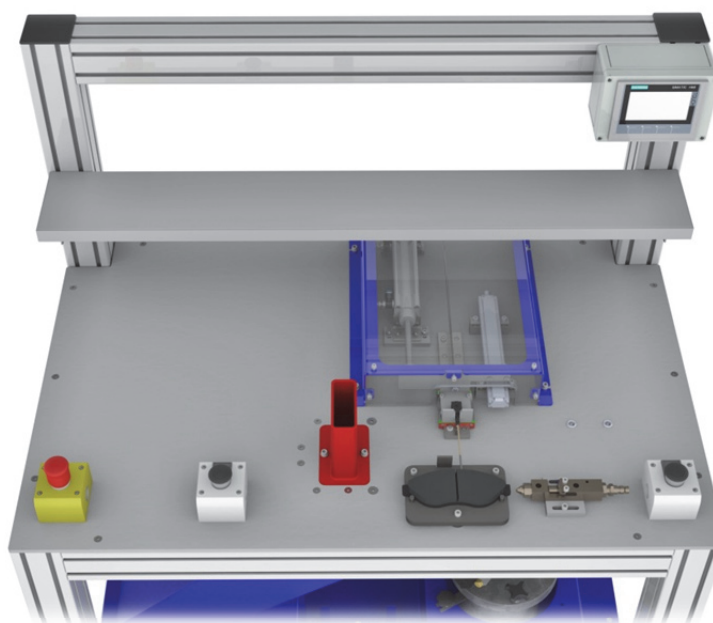
Obr. 7.7 – Pohled do rozvodné skříně

Ke spodní desce je připevněn napínací pneumomotor, který je možné výškově nastavit a zafixovat šrouby. To usnadňuje montáž a další ustavení vůči lineárnímu vedení. Na pístnici je našroubován tenzometrický snímač síly.



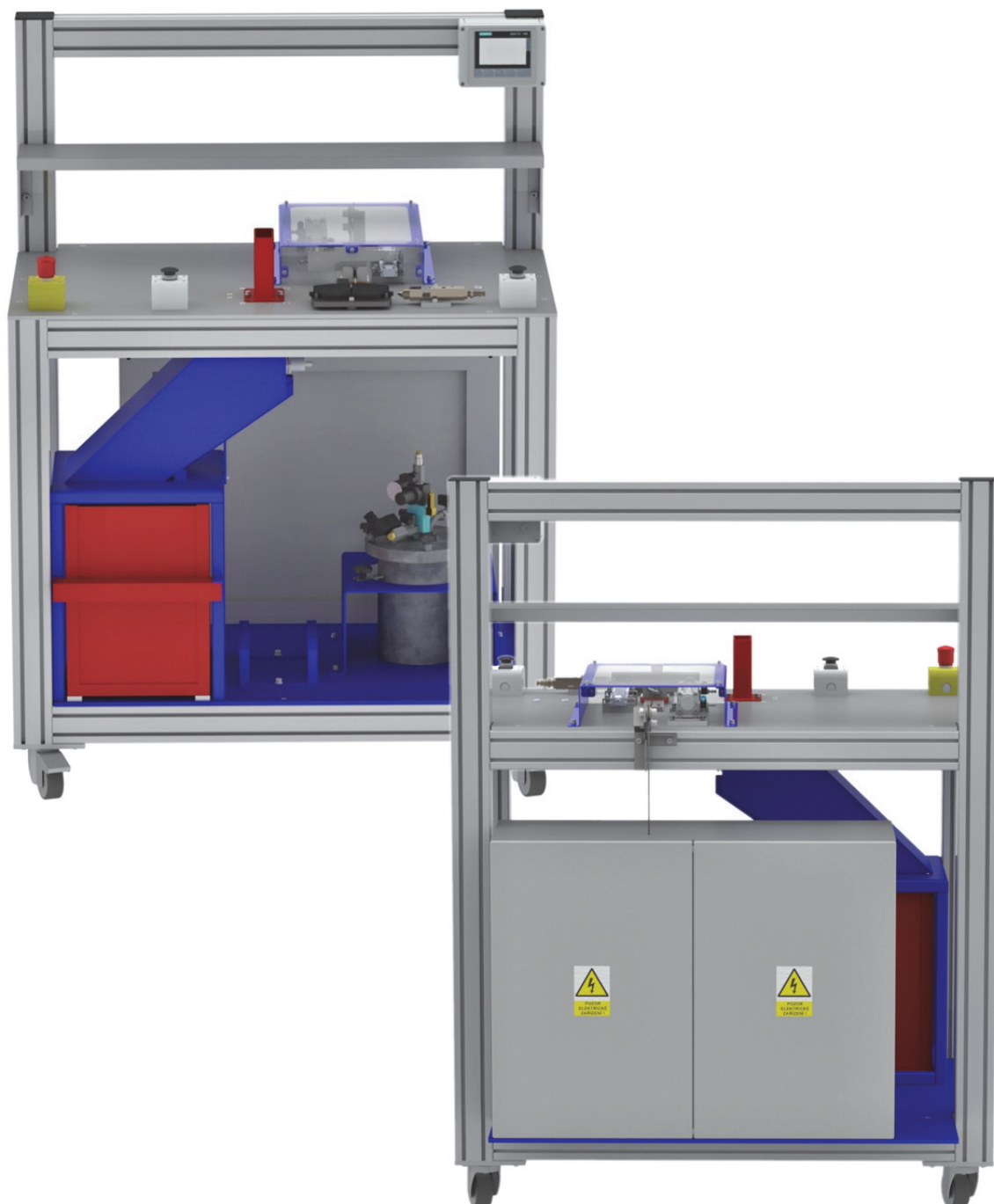
Obr. 7.8 – Detail uchycení pneumomotoru

Zařízení řídí programovatelný automat Simatic S7-1200 od firmy Siemens, který s obsluhou komunikuje prostřednictvím dotykového panelu KTP400. Samotné spouštění procesu testování je obouručním ovládáním tlačítka. Z důvodu bezpečnosti bylo nutné horní desku doplnit o kryt lineárního pneumatického válce včetně všech pohybujících se částí. Otvor pro vadné kusy je zakryt tak, aby nemohlo dojít ke zranění. V levé části stolu je Total Stop tlačítko pro okamžité vypnutí zařízení v případě nebezpečí.



Obr. 7.9 – Pohled na finální podobu pracovního stolu

Model je tímto hotový a může přejít do výroby. Níže přikládám rendery celého zařízení z přední a zadní strany. Chtěl bych podotknout, že toto je již finální verze. Té předcházelo několik minulých, které bylo nutné stále upravovat a vylepšovat. Například je zde oproti první verzi zcela přepracován systém pro skladování vadných kusů, a také řídicí systém, který byl původně pouze reléový a místo displeje byl použit panel s tlačítky a kontrolkami. Napínací síla se ukazovala na externím zařízení. Taktéž změřená délka kabelu se pouze zobrazovala na dalším displeji. Zadavateli toto řešení nevyhovovalo, a tak jej bylo nutné přepracovat.



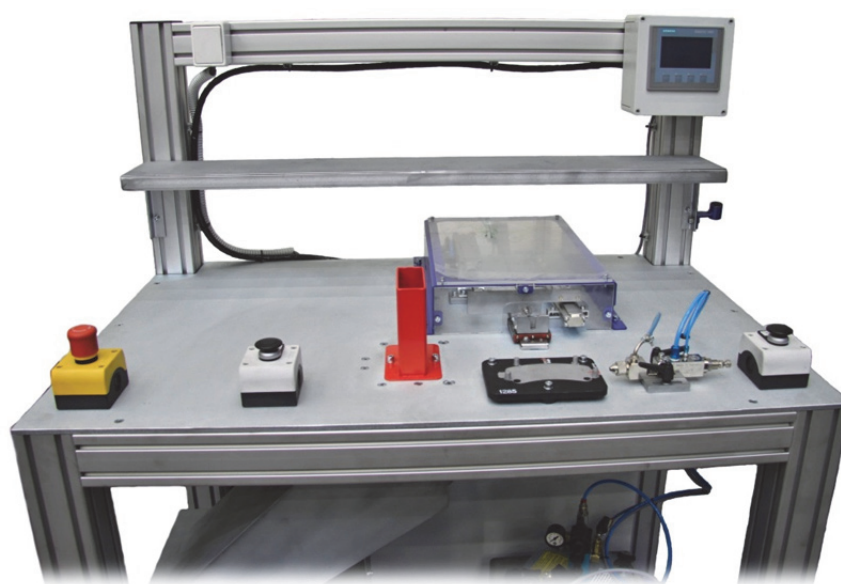
Obr. 7.10 – Kompletní zařízení

7.1 Povrchové úpravy

Rám je z hliníkových profilů, proto je bez úprav. Horní deska, odkládací police, matrice, držáky válců a dalších pár drobností je galvanicky pozinkováno. Spodní deska, skluz, rám pro kontejner, držák tlakové nádoby, zakladač pro matrice a rám krytu zpětného válce jsou práškově komaxitovány do modré barvy RAL 5002. Kontejner pro vadné kusy a kryt otvoru pro tyto brzdové desky jsou upraveny práškovým komaxitem do červené barvy RAL 3024.

8 Skutečné zařízení

Největším lákadlem pro toto téma byla výroba a sestavení samotného zařízení. Už v bakalářské práci jsem pracoval na problému z praxe, ale neměl jsem možnost zařízení vyrobit nebo jej vidět fungovat v praxi. Zde se tato možnost vyskytla a jsem za to rád, protože i když jsem měl vytvořený model, tak až montáž prověřila celý návrh. Montáž jsem si organizoval sám, a také jsem se na ní podílel. Bylo nutné sestavit rám, opatrně vložit horní a spodní desku, skříň a vše důkladně utáhnout šrouby. Následně se zařízení osadilo pneumatickými prvky, lineárním vedením, odměřováním a značicím systémem. Z hlediska bezpečnosti jsou pohyblivé části schovány pod krytem s plexisklem a otvor pro vadné kusy opatřen dostatečně vysokým krytem, aby nedošlo ke zranění.



Obr. 8.1 – Pracovní prostor

Poté se zkompletoval skluz s kontejnerem pro vadné kusy. Kontejner má vnitřní stěny vystlány měkkou gumou a na dně jsou tlumící elementy z recyklovatelného polystyrenu, překryté opět měkkou gumou. Spodní plocha skluzu je také opatřena měkkou gumou.

Nyní byl prostor přenechán elektrikářům, kteří zařízení osadili elektrickým vybavením. Ve skříni se nachází programovatelná jednotka, jističe, zdroj napájení a další. V horní části rámu je umístěn dotykový panel, přes který bude probíhat veškerá komunikace s obsluhou. Na horní desce jsou umístěna tlačítka obouručního spouštění a Total Stop tlačítko. Kabeláž od dotykového panelu je vedena po rámu v kabelových úchytkách. Kabely tlačítek jsou vedeny pod spodní deskou, aby nedošlo k jejich poškození, a také z estetického hlediska. Kabely i pneumatické hadice jsou organizovány a chráněny svazkovací spirálou. Níže přikládám fotografie skutečného zařízení. Z důvodu termínu dodání jsem neměl možnost zařízení vyfotit po konečných povrchových úpravách.



Obr. 8.2 – Pohled zepředu

Na zadní straně se nachází rozvodná skříň, ve které je umístěno již zmiňované elektrické a pneumatické vybavení včetně napínacího válce. Kabely a hadice jsou do skříně přivedeny shora přes prachotěsné průchodky, jelikož zařízení je provozováno v mírně prašném prostředí. Elektrické napájení je realizováno přívodním kabelem 230 V. Přívod tlakového vzduchu je možný z externího zdroje pomocí rychlospojky v horní části skříně. Hlavní vypínač je z boku skříně.

Před spuštěním bylo nutné válce napínacího systému vůči sobě ustavit a sesynchronizovat rychlosti tak, aby se válce vzájemně neovlivňovaly. Poté bylo nutné nastavit a odladit programy jednotlivých desek. Taktéž se muselo odvzdušnit a nastavit značící zařízení. Následovalo zkoušení všech typů brzdových desek včetně simulování utrženého kabelu a všech možných stavů, které by mohly při testování nastat. Zařízení se odvezlo k zákazníkovi a připravilo k provozu.

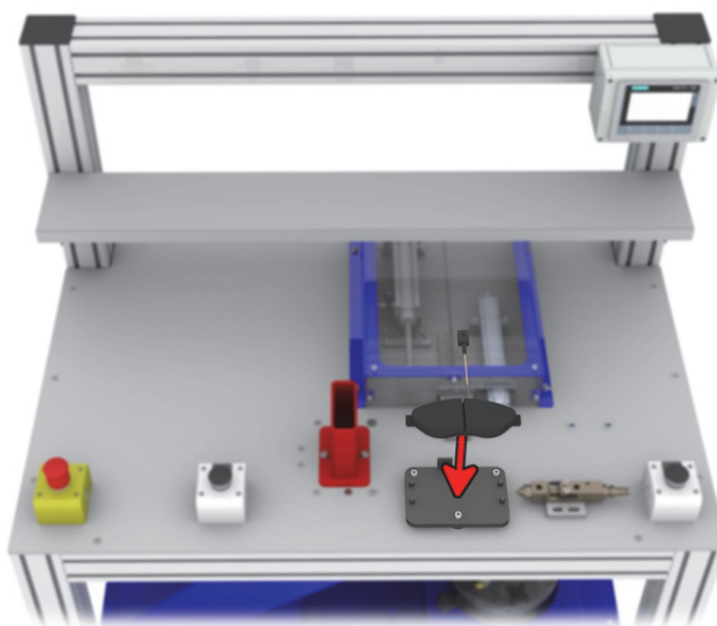


Obr. 8.3 – Pohled zezadu

9 Simulace procesu testování

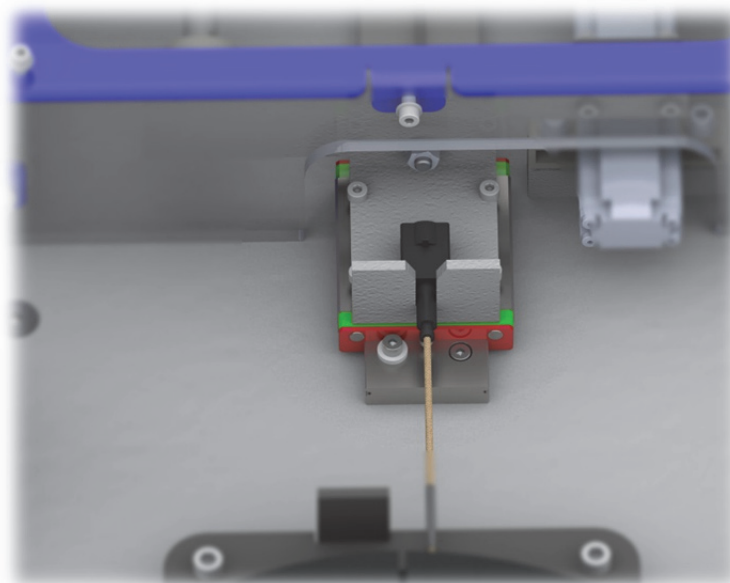
Za předpokladu, že je zařízení připojeno k elektrické síti a tlakovému vzduchu, je zapnuté, přišroubovaná příslušná matrice a zvolen korespondující program, může začít proces testování daným postupem:

1. Vložit brzdovou desku do matrice:



Obr. 9.1 – Vložení brzdové desky

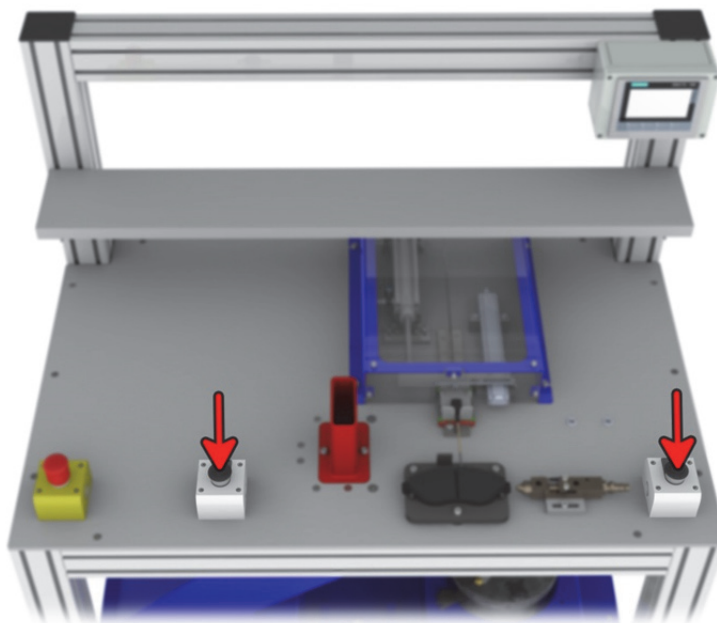
2. Zaháknout konektor čidla do závěsného mechanismu na lineárním vedení:



Obr. 9.2 – Zaháknutí konektoru

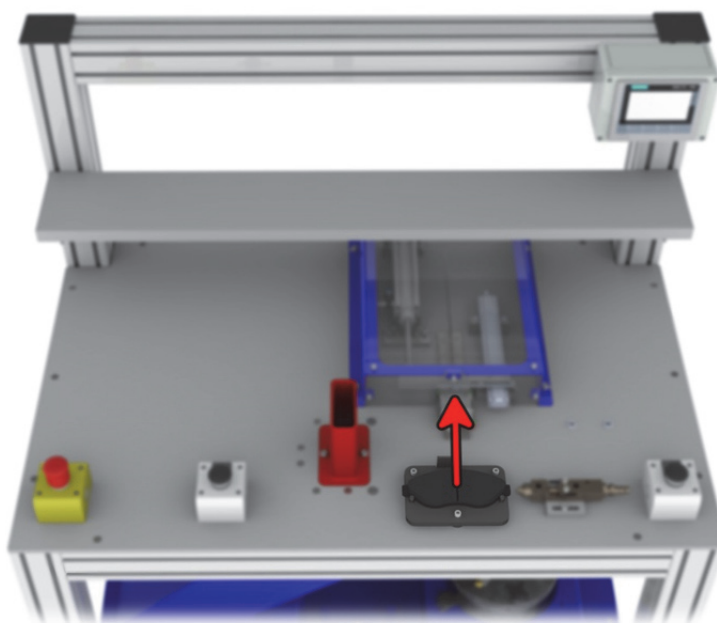
3. Najednou stisknout tlačítka obouručního ovládání, čímž se spustí proces testování:

Zpětný válec se zasune a napínací válec zasunutím pístnice napne kabel požadovanou silou. Pokud je kus v pořádku, na bok se stříkne zelená značka. Poté se válce vrátí do původní polohy a uvolní konektor.



Obr. 9.3 – Spuštění procesu testování

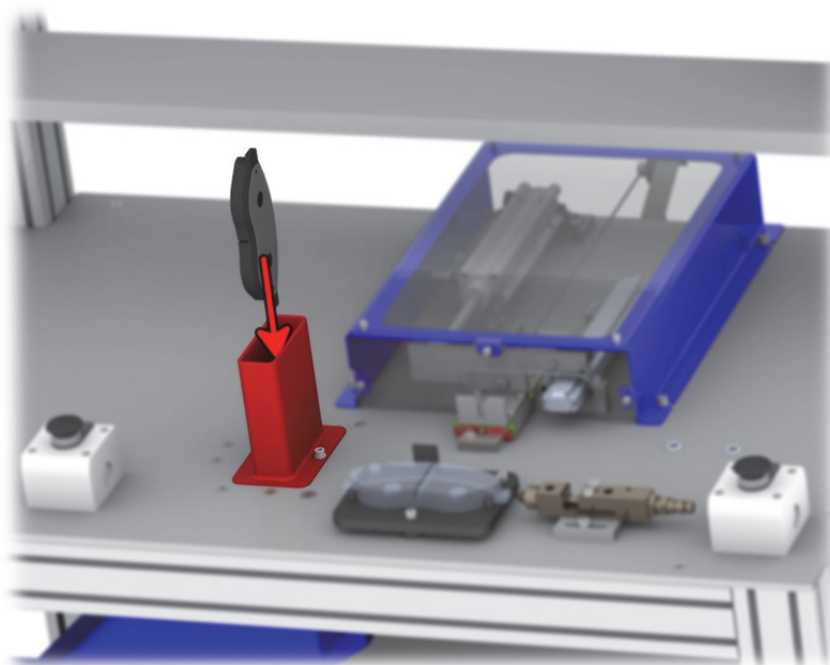
4. Nyní je možné brzdovou desku vyjmout a celý proces opakovat na dalším kusu:



Obr. 9.4 – Vyjmutí brzdové desky

9.1 Vyhodnocení špatné desky

Pokud dojde k vytržení čidla z brzdové desky nebo je délka kabelu mimo stanovenou toleranci, značka se nestříkne a na panelu se zobrazí hláška. Otevře se záklopka a vadnou desku je nutné vhodit do otvoru, jinak nebude umožněno pokračovat v testování.



Obr. 9.5 – Vhození vadného kusu

Po vhození desky indukční čidlo zaznamená pohyb, uzavře se záklopka a je možné testovat další kus. Vhozená brzdová deska samozřejmě sklouzne až do kontejneru.

V této kapitole nebylo popsáno nastavení testovacího programu na panelu. Úplný postup a podrobnější popis od zapnutí zařízení, výběru programu, testování a vypnutí je uveden v návodu k obsluze.

10 Návod k obsluze a údržbě

10.1 Úvod

Zkušební stend slouží jako pracoviště, na kterém se zkouší kvalita zalepení kabelu snímače opotřebení brzdových destiček. Zařízení je koncipováno jako samostatná jednotka, vybavená veškerými ovládacími a kontrolními prvky a jeho připojení k elektrické síti a tlakovému vzduchu lze provést prostřednictvím kabelu a hadice s rychlospojkou. Zařízení je vybaveno potřebným elektrickým a pneumatickým vybavením.

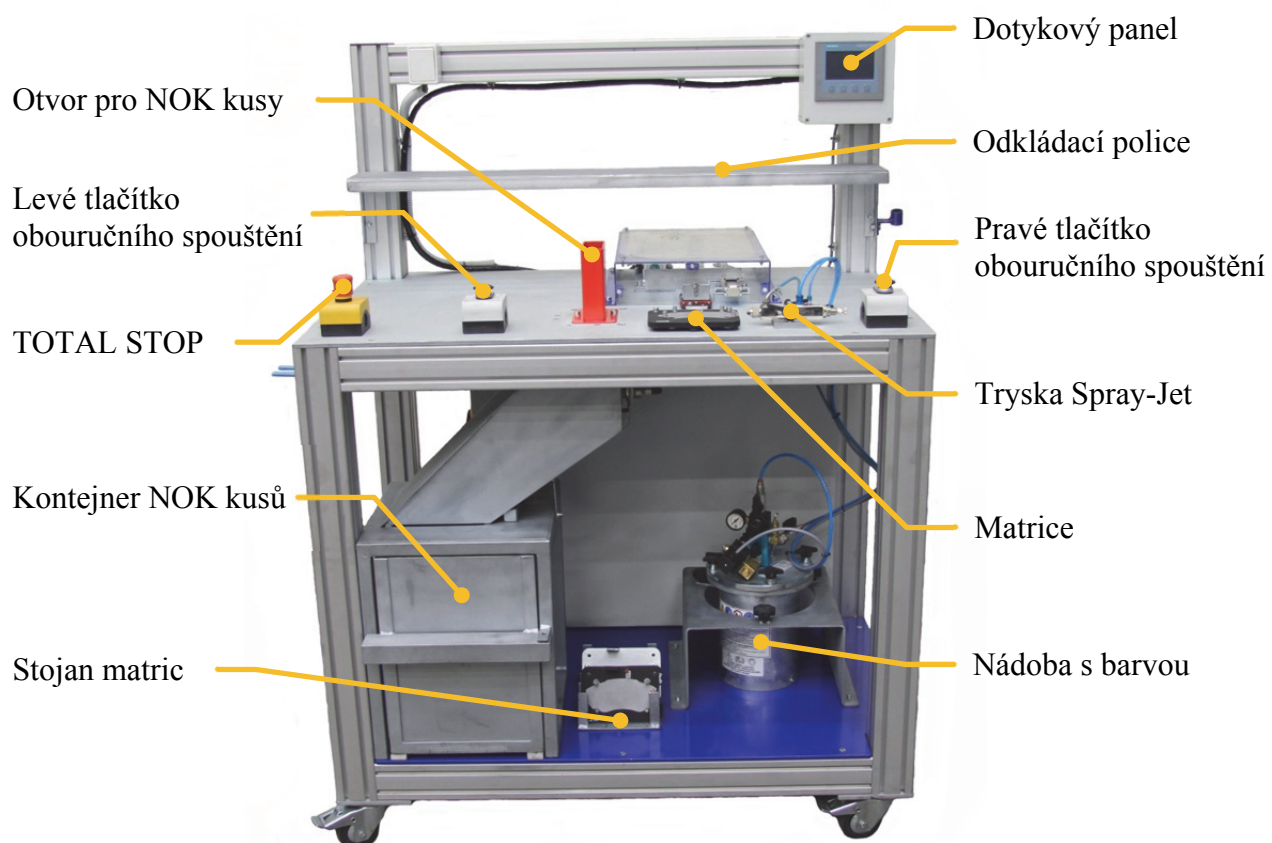
Tento návod je přílohou:

Funkčního schéma - výkres č.: 3-HI 16851

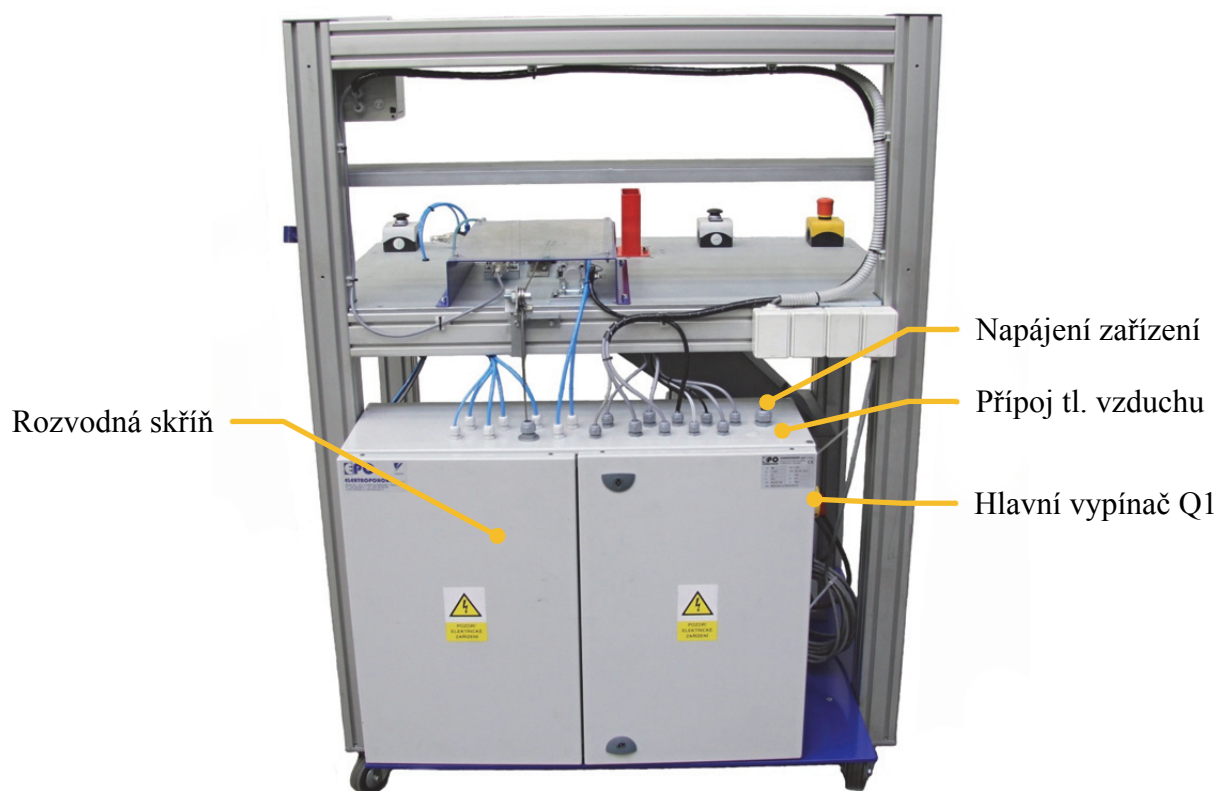
Specifikace prvků - výkres č.: 4-HI 16852

10.2 Popis zařízení

Konstrukce stendu je tvořena přesnými hliníkovými profily a ocelovými deskami, na kterých jsou upevněny akční členy zkušebního zařízení. Taktéž je k základní pracovní ploše připevněna matrice pro umístění zkoušeného kusu. Síla je snímána tenzometrem. Délka kabelu je vyhodnocována pomocí lineárního odměřování. Uživatelské volby a výsledky jednotlivých testování se zobrazují na dotykovém panelu HMI KTP400. Systém má možnost záznamu měření do interní paměti.



Obr. 10.2.1 – Popis zařízení (zepředu)



Obr. 10.2.2 – Popis zařízení (zezadu)

10.3 Pneumatický systém

Pneumatický systém sestává z potřebných prvků pro provoz pneumatických válců:

Na vstupu do obvodu je umístěna rychlospojka pro napojení hadice na přívod tlakového vzduchu. Tímto může být kompresor nebo centrální rozvod vzduchu.

Dále je napojena jednotka pro úpravu tlakového vzduchu 1 - tato obsahuje: filtr s odlučovačem kondenzátu, redukční ventil a maznici. K této jednotce je připojen odvzdušňovací ventil 2. Normálně je ventil po zapnutí zařízení trvale pod napětím a přivádí vzduch do obvodu. Při vypnutí ventil odvzdušní obvod do atmosféry. Tlakovou nádobu odvzdušňuje ventil 11. Za jednotkou pro úpravu vzduchu 1 se nachází několik redukčních ventilů. Tyto upravují tlak vzduchu, který je přiváděn do jednotlivých výkonných členů.

Jako výkonné členy jsou použity pneumatické válce:

Pneumatický válec 4.1 – napínací se používá pro zatěžování snímače danou silou. Síla je stanovena výrobcem. Tlak pro vyvození dané síly je možné nastavit na redukčním ventilu 3. Otáčením kolečka ve směru hodinových ručiček se tlak zvyšuje a proti směru snižuje. Tlak je možné odečíst z manometru.

Pneumatický válec 4.1 je vybaven magnetickým pístem a snímači polohy. Pomocí snímačů se pak určuje poloha válce. Pohyb válce je ovládán elektropneumaticky rozváděčem 6a. Rychlost pohybu válce je možné nastavit pomocí škrticích ventilů 4a a 4b.

Pneumatický válec 4.2 – zpětný se používá pro návrat závěsného mechanismu do výchozí polohy pro další zkoušku.

Pneumatický válec 4.2 je vybaven magnetickým pístem a snímači polohy. Pomocí snímačů se pak určuje poloha válce. Pohyb válce je ovládán elektropneumaticky rozváděčem 6b. Rychlost pohybu válce je možné nastavit pomocí škrticích ventilů 4c a 4d.

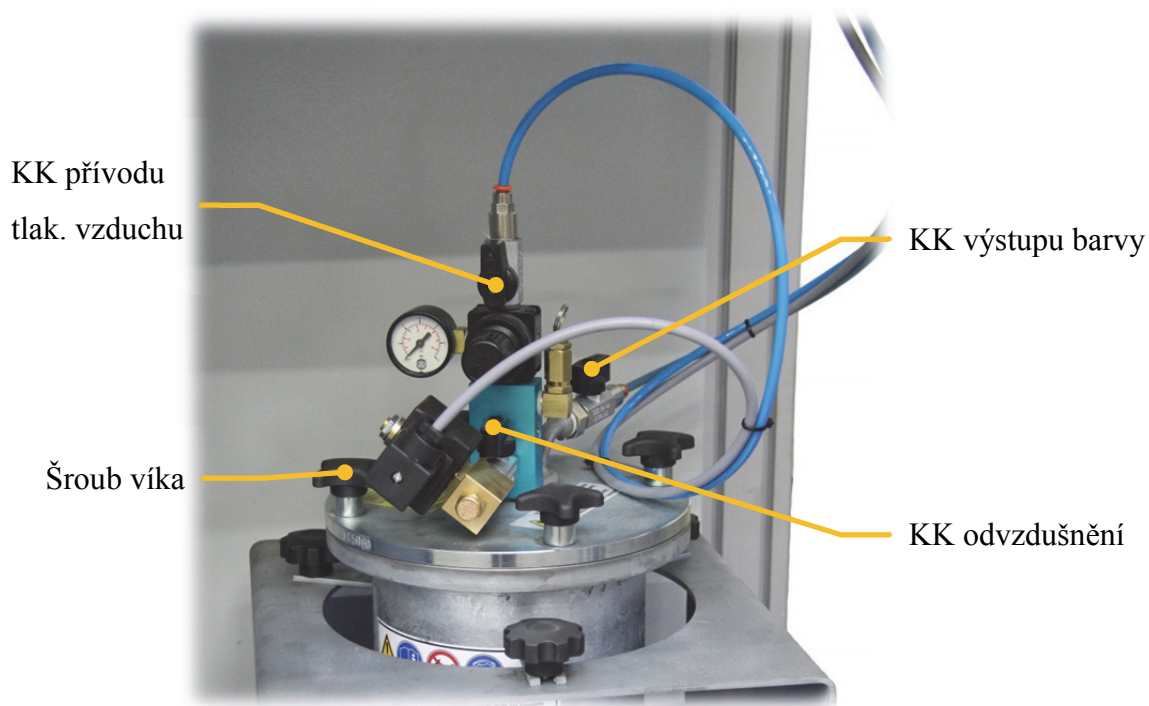
Pneumatický válec 5 – záklopka se používá pro otevření a zavření otvoru, do kterého je nutné vhodit zkoušený díl, který neprošel zkouškou.

Pneumatický válec 5 je vybaven magnetickým pístem a snímači polohy. Pomocí snímačů se pak určuje poloha válce. Pohyb válce je ovládán elektropneumaticky rozváděčem 6c. Rychlost pohybu válce je možné nastavit pomocí škrticích ventilů 4e a 4f.

Spray-jet systém se používá pro značení dobrých kusů, které úspěšně prošly zkouškou. Tento systém je sestaven z několika částí. Na spodní polici se nachází tlaková nádoba 8, ve které je umístěna barva. Nádoba má vlastní redukční ventil. Upravený tlak vzduchu je přiveden nad hladinu barvy. Další částí je tryska 9 na horní desce, která je nastavitelná vůči zkoušenému kusu. K trysce je vedena barva, redukováný tlak vzduchu z redukčního ventilu 10 pro rozprašování i plný tlak z hlavního pneumatického rozvodu pro řízení pomocí solenoidového ventilu 7. Přívodem napětí na ventil 7 tryska 9 stříkne malou zelenou tečku na dobrý kus.



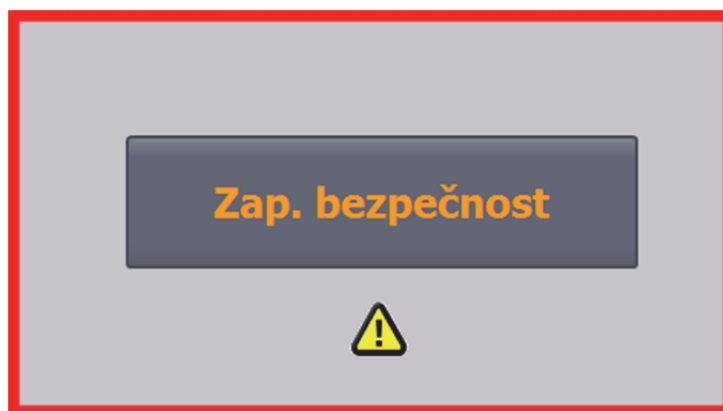
Obr. 10.3.1 – Pohled do rozvodné skříně



Obr. 10.3.2 – Kulové kohouty (KK) na tlakové nádobě s barvou

10.4 Popis obsluhy zařízení

Obsluha zařízení zapojí do sítě 230 V 50 Hz a provede připojení tlakového vzduchu. Na tlakové nádobě s barvou otevře kulové kohouty: přívod tlakového vzduchu, výstup barvy a odvzdušnění. Zkontroluje odaretaci nouzového tlačítka TOTAL STOP. Zapne hlavní vypínač Q1, čímž přivede napětí do rozvodné skříně. Vyčká na kompletní naběhnutí systému. Na dotykovém panelu stiskem tlačítka **Zap. bezpečnost** zapne bezpečnostní okruh (obr. 10.4.1).



Obr. 10.4.1 – Zapnutí bezpečnostního okruhu

Nastavení parametrů testování

2/13/2016
9:02:27 AM

tip ?

Výběr desky:

Název položky:	Hodnota
Síla [N]	0
Celková délka [mm]	0
Rozsah H-limit [mm]	0

TESTOVÁNÍ

Obr. 10.4.2 – Rozhraní systému

Síla [N] – Nastavená hodnota síly. Pokud je naměřená hodnota menší, je deska vyhodnocena jako vadná

Celková délka [mm] – Délka od desky ke konektoru

Rozsah H-limit [mm] – Hodnota, která udává kladnou toleranci k celkové délce

Rozsah D-limit [mm] – Hodnota, která udává zápornou toleranci k celkové délce

Délka X [mm] – Pevná hodnota. Pouze pro nastavení různých délek od matrice pro jiné typy desek

Brzda – Pevná číselná hodnota, která zajistí zobrazení názvu desky při proceduře testování

Nastavení parametrů testování

2/13/2016
9:02:48 AM


tip ?

Výběr desky:

- APF-1285-20
- APF-1285-30
- APF-763-20
- APF-516-20

TESTOVÁNÍ

Obr. 10.4.3 – Výběr desky



Následně zvolí požadovaný typ zkoušené brzdové desky z rolovací nabídky (obr. 10.4.3). **Tato volba se musí uložit do PLC stiskem tlačítka**  **umístěným vpravo dole.** Stiskem tlačítka **TESTOVÁNÍ** se stroj ustaví do výchozí polohy a je připraven k testování. Tlačítkem **tip ?** lze zobrazit nápovědu.




Obr. 10.4.4 - Testování

Měřené aktuální hodnoty jsou zobrazeny v bílém poli. Pod aktuální hodnotou je ukázána nastavená hodnota. Hodnotu síly je možné ručně vynulovat tlačítkem **0**. Tlačítkem **Výběr desky** se lze po potvrzení vrátit na předchozí obrazovku a vybrat jiný typ (obr. 10.4.2). Obsluha ručně vloží brzdovou desku do matrice. Zavěsí konektor kabelu snímače opotřebení za závěsný mechanismus. Současně zmáčkne obě tlačítka „DALŠÍ KUS“ obouručního spouštění. Zpětný válec 4.2 se odsune do zadní polohy a zastaví se na koncovém spínači SP2a. Napínací válec 4.1 se začne posouvat, až napne nerezové lano, a tím zatíží kabel snímače opotřebení nastavenou silou. Pokud testovací kus vydržel zatížení a délka kabelu je ve stanovené toleranci, je test považován za vyhovující. Na displeji se zobrazí **OK**. Ovládací systém dá pokyn na ventil 7, který se otevře a tryska vstříkne barvu na stanovené místo zkoušeného kusu. Válec 4.1 uvolní napínání a začne se posouvat dopředu. Válec 4.2 se také začne posouvat dopředu a vrací upínací zařízení do původní polohy. Obsluha má možnost odebrat zkoušený kus. Zařízení je připraveno pro nový cyklus testování.

Vadný kus

Pokud dojde k vytržení kabelu z testovaného kusu – válec 4.1 dojde až na koncový spínač SP1a, délka vodiče čidla opotřebení bude mimo stanovenou toleranci či síla bude menší než zadaná hodnota, pak je testovaný kus vyhodnocen jako vadný. Proces zkoušení je zastaven, válce 4.1 a 4.2 se vrátí do výchozí polohy, na displeji se rozsvítí  a otevře se záklopka otvoru pro vadné kusy. Obsluha musí vadný kus vhodit otvorem do připraveného kontejneru. Kus propadává do boxu kolem indukčního čidla, toto zaregistruje pohyb a po propadnutí se záklopka uzavře. Na panelu se objeví  („Další kus“) a lze spustit nový cyklus testování. V případě špatného kusu se značka nestříká.

Havárie

V případě vzniku nebezpečí, neobvyklého chování systému či úniku barvy lze stroj okamžitě vypnout TOTAL STOP tlačítkem. Po stisknutí tlačítka dojde k odvodu celého obvodu. Po odstranění problému obsluha STOP tlačítko odjistí a na displeji stiskne tlačítko . Zařízení se přestaví do výchozí polohy a je opět připraveno k testování.

Postup seřízení pro jiný typ brzdové desky

Pomocí šroubů se demontuje upínací matrice a namontuje se jiná. Matrice lze odkládat do stojanu ve spodní polici. Dle zvolené matrice je nutné nastavit i vzdálenost trysky od zkoušeného kusu a to tak, že se povolí dvojice šroubů desky s tryskou, upraví se vzdálenost a šrouby se dotáhnou.

Postup vypnutí zařízení

Po dokončení testování obsluha vypne napájení stroje hlavním vypínačem Q1. Dojde k odvodu systému. Při delší nečinnosti stroje je nutné uzavřít kulové kohouty na tlakové nádobě s barvou: přívod tlakového vzduchu, výstup barvy a odvodu.

Postup doplnění barvy:

- ❑ Zařízení musí být kompletně vypnuté
- ❑ Zavřít kulové kohouty výstupu barvy a přívodu tlakového vzduchu
- ❑ Kulový kohout odvzdušnění musí zůstat otevřený
- ❑ Povolit čtyři šrouby víka a sejmout víko
- ❑ Doplnit barvu

Obráceným postupem zkompletovat

10.5 Volné díly

- ❑ Součástí stendu je nezbytné příslušenství: matrice

11 Technické parametry

Pracovní tekutina: průmyslový stlačený vzduch
(teplota okolí $+5 \div +40$ °C)

Stupeň filtrace vzduchu: 5 µm

Požadovaný tlak: min 5,5 bar

Příkon: 500 W

napětí: 230 V AC

frekvence: 50 Hz

Pracovní prostředí: Normální
Není určeno do nechráněného
venkovního prostředí

* Nastavitelný tlak je závislý na průtoku ventilem a není konstantní. Manipulace nastavení tlaku bez souhlasu zhotovitele může vést ke ztrátě záruky. Při neodborném zacházení může vést k poškození zařízení.

12 Uvedení do provozu

Uvedení do provozu provede odběratel po ustavení zařízení a doplnění vhodných propojovacích prvků. Vhodnost prvků doporučujeme konzultovat. Po přepravě je nutné zkontrolovat usazení dílů, čistotu a pečlivost smontování potrubí.

13 Obsluha, ošetřování a údržba

Zařízení nevyžaduje speciální údržbu. Je potřeba min 1× měsíčně zkontrolovat těsnost pneumatických prvků ve skříní a případné poruchy odstranit.

13.1 Požadavky na obsluhu a údržbu

Osoby, které montují, obsluhují, demontují, nebo udržují zařízení, nesmí být pod vlivem alkoholu, jiných drog nebo léků, které ovlivňují schopnost reakce.

13.2 Obsluha zařízení

Pro dozor a obsluhu zařízení je třeba zajistit minimálně jednoho pracovníka pro preventivní prohlídky a běžné údržbářské práce. Pracovník musí být odborně zaškolen pro obsluhu a údržbu pneumatických zařízení.

Musí být seznámen:

- a) s činností pneumatického obvodu dle funkčního schématu zapojení
- b) se základními znalostmi o údržbě pneumatických zařízení
- c) s bezpečnostními předpisy a zásadami o bezpečnosti práce
- d) s funkcí použitých prvků a způsobem jejich ovládání
- e) s návazností funkcí pneumatiky na úkony technologického zařízení

Povinnosti pracovníka obsluhy jsou:

- a) provádění preventivních prohlídek zařízení
- b) ovládání prvků při seřizování
- c) provádění dozoru během provozu
- d) stanovení požadavků na údržbu zařízení
- e) vést deník o chodu pneumatického zařízení a prováděných opravách

13.3 Údržba zařízení

Údržbu zařízení zajistí provozovatel. Mezi hlavní povinnosti bude patřit provádění pravidelných preventivních prohlídek. Při zjištění závady je třeba v co nejkratším termínu uvést zařízení do původního stavu. O všech výměnách prvků, hadic apod. včetně všech zásahů do zařízení je nutno vést provozní deník.

Údržbu provádí zaškolený personál údržby technologického zařízení, seznámen se zabudovaným zařízením a prvky. Veškeré opravy pneumatického zařízení se provádějí po dohodě s obsluhou.

Zařízení musí být před opravou odstaveno z provozu, obvod musí být bez tlaku a musí být provedeno opatření proti možnosti spuštění do chodu. Je třeba dodržet příslušné bezpečnostní předpisy.

Po dobu záruky je zakázáno provádět jakékoli úpravy nebo zásahy do zařízení bez písemného souhlasu dodavatele, jinak záruka zaniká. Doporučujeme ke všem úpravám i po skončení záruky přizvat pracovníky dodavatele. Dále doporučujeme objednat u dodavatele stálý servis zařízení s pravidelnými prohlídkami, nejméně 1× za 6 měsíců.

14 Zásady pro dodržování bezpečnosti práce

Při provozu a údržbě zařízení je třeba dodržovat příslušné bezpečnostní předpisy a níže uvedené zásady:

- ❑ Obsluhu a údržbu zařízení smí provádět jen osoby k tomu určené
- ❑ Obsluha musí splňovat kvalifikační předpoklady uvedené v bodě 13.2 této zprávy
- ❑ Pracovníci údržby musí splňovat předpoklady uvedené v bodě 13.3 této zprávy
- ❑ Za správné provedení opravy a seřízení po opravě je zodpovědný provádějící pracovník a pracovník obsluhy zařízení
- ❑ Obsluha pneumatických zařízení je povinná provádění oprav a údržby odsouhlasit se zodpovědným pracovníkem. Souhlas k zahájení oprav a opětovnému provozu zařízení dává zásadně pracovník obsluhy zařízení
- ❑ Při opravě stroje je nutno vypnout hlavní vypínač. Při práci v elektrorozváděči je nutno dbát toho, že vstupní svorky a přívod hlavního vypínače jsou pod napětím i při vypnutém hlavním vypínači stroje. Pro beznapěťový stav je nutno vypnout hlavní přívod do rozváděče

- ❑ V prostoru a nejbližším okolí zařízení a příslušenství je dovoleno provádět pouze nezbytně nutné svářečské práce při dodržení všech bezpečnostních opatření a předpisů platných pro svařování
- ❑ V prostoru zařízení je rovněž zakázáno kouření a manipulace s otevřeným ohněm
- ❑ V prostoru zařízení je každý povinen dodržovat všechny všeobecné i specifické bezpečnostní předpisy, platné v závodě uživatele
- ❑ Musí být dbáno o udržování zařízení dle protipožárních opatření platných pro zařízení tohoto druhu
- ❑ Uživatel je povinen shrnout všechny všeobecné i specifické bezpečnostní předpisy a doplnit je souborem bezpečnostních předpisů platných v závodě uživatele. Školení a přezkoušení pracovníků obsluhy a údržby jsou prováděny jedenkrát ročně. Místa, na nichž hrozí nebezpečí úrazu, musí být zřetelně označena (zbarvením, výstražnou tabulí apod.)
- ❑ Obsluha zařízení je povinna vést deník o předávání služeb, stavu zařízení a příslušenství, případně o poruchách včetně údajů, kdo a kdy poruchy odstranil

14.1 Specifikace nebezpečných míst na stroji

- ❑ Elektrická část pod napětím

14.2 Specifikace škodlivin a rizik

- ❑ Stroj sám o sobě negeneruje žádné škodliviny či rizika

14.3 Likvidace požáru

- ❑ Při vzniku požáru se postupuje ve smyslu požárních poplachových směrnic, havarijního plánu, evakuačního plánu a opatření ke zpětnému hlášení mimořádných událostí
- ❑ Stroj je potřeba vypnout od elektřiny
- ❑ Při hašení použít prostředek dle povahy požáru. V elektrickém zařízení haste přístrojem s náplní CO₂

15 Závěr

Práce se zabývá návrhem zkušebního stendu čidel opotřebení brzdových čelistí a zpracováním do formy projektu včetně následné výroby. Na úvod práce je krátké seznámení s použitím brzdových systémů v automobilech.

Další kapitola se zabývá návrhem testovacího zařízení. Jsou zde představeny jednotlivé varianty systému napínání. Po zvolení pohonu pomocí dvou pneumatických válců je zbytek práce již věnován konkrétnímu návrhu. To znamená seznámení s předpokládanými pneumatickými prvky a systémem značení. Po tomto kroku jsem mohl vytvořit funkční schéma včetně specifikace prvků. Po konzultaci ohledně vhodnosti navržených prvků s vedoucím práce se prvky objednávaly. Pro zpětnou vazbu je použit tenzometrický snímač síly a kvůli kontrole délky kabelu je vedle lineárního vedení umístěno lineární odměřování.

Samotný konstrukční návrh zabral nejvíce času. I když se finální podoba nezdá nějak zvlášť složitá, cesta nebyla jednoduchá a začínal jsem pouze ze stanovisek a podkladů zadavatele. Zvolení předběžných rozměrů jsem řešil podle doporučení a vlastní úvahy. Následně jsem hledal vhodný profil pro základní rám. Po vytvoření modelu rámu, osazením horní a spodní deskou a kolečky se práce konečně zrychlila. Návrh napínacího systému pomocí nerezového lana splnil požadavky. Válce se nijak neovlivňovaly a systém funguje bez potíží. Nejpřínosnější bylo řešení problému jako celku – od první schůzky se zadavatelem až po realizaci. Řešil jsem jak funkční schéma, volbu prvků a jejich poptávku, výpočet napínacího tlaku, tak i konstrukci zařízení, aby vyhovovalo dnešním trendům, ergonomii a bezpečnosti.

Za velké zpestření této práce považuji výrobu a uvedení zařízení do provozu. To je pro mě největší úspěch a byla to skvělá příležitost, jak spojit teorii s praxí. Nejedná se pouze o virtuální model, ale o skutečné zařízení, které splňuje funkci dle očekávání. Dalším přínosem byla tvorba dokumentace ve firmě, čímž jsem si rozšířil znalosti a zjistil, jak to funguje v praxi. Závěr práce tvoří kompletní návod k obsluze a údržbě.

Výše zmíněnými skutečnostmi jsem splnil všechny zásady a cíle zadané diplomové práce.

Tímto děkuji vedoucímu diplomové práce Dr. Ing. Miroslavu Bovovi za cenné rady i připomínky. Dále bych chtěl poděkovat všem zaměstnancům firmy Interfluid spol. s r.o. za pomoc při samotné stavbě zařízení.

16 Použité informační zdroje

- [1] Konzultace ve firmě Interfluid spol. s r.o., Třída 1. Máje, 703 00 Ostrava. Zde pořízeny i fotografie.
- [2] Auta 5P - Automobilová encyklopedie [online]. © 2013, [cit. 2015-12-29]. Dostupné z: <http://auta5p.eu/informace/podvozek/podvozek3.php>
- [3] Automonti s.r.o. *Brzdy a brzdový systém automobilu*. [online]. © 2012, [cit. 2015-12-29]. Dostupné z: <http://www.automonti.cz/pdf/brzdy-brzdovy-system.pdf>
- [4] Brake [online]. © 2015, [cit. 2015-12-29]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Brake>
- [5] Příznaky poruch brzdového systému [online]. © 2014, [cit. 2015-12-29]. Dostupné z: <http://www.autokellyautoservis.cz/priznaky-poruch-brzdoveho-systemu/>
- [6] Stránský a Petržík, Pneumatické válce spol. s r.o. *Stránský a Petržík, Katalog pneumatických prvků č. 14*. [online]. © 2016. [cit. 2016-2-8]. Dostupné z: http://stranskyapetrzik.cz/objekty/katalog_stransky_a_petrzik_14_160414.pdf
- [7] Misumi USA, Inc. *Single Axis Actuator, LX Series*. [online]. © 2008. [cit. 2016-2-8]. Dostupné z: https://www.misumiusa.com/CategoryImages/SAA_2008_pdf/MISUMI%20Single%20Axis%20Actuators.pdf
- [8] Festo, s.r.o. *Válce dle norem DSBC, ISO 15552*. [online]. © 2015. [cit. 2016-2-18]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/DSBC_CZ.PDF
- [9] Stránský a Petržík, Pneumatické válce spol. s r.o. *Přesné redukční ventily řady MAIR*. [online]. © 2016. [cit. 2016-2-8]. Dostupné z: http://stranskyapetrzik.cz/objekty/katalog_14_strana_8-15.pdf
- [10] Marek Gwuzd. *Bezkontaktní systém značení barevným bodem SPRAY-JET*. Ostrava: SIC-VENIM s.r.o. 6 s.
- [11] Zemic Europe B.V. H3, Load Cell. [online]. © 2015. [cit. 2016-4-12]. Dostupné z: <http://www.zemiceurope.com/h3.html>

- [12] Balluff GmbH. Profile micropulse transducers. [online]. © 2016. [cit. 2016-4-12].
Dostupné z: <http://www.balluff.com/balluff/MDE/en/products/1413.jsp>

17 Použitá literatura

- [13] Kolektiv autorů. *SMC Training – Stlačený vzduch a jeho využití*. Brno: SMC Industrial Automation CZ s.r.o. 2. vydání. 519 s.
- [14] Kopáček, J. *Pneumatické mechanismy díl 1. – Pneumatické prvky a systémy*. Ostrava: VŠB-TUO, 1996. 267 s. ISBN 80-7078-306-0
- [15] Pavlok, B., Hružík, L., Bova, M. *Hydraulická zařízení strojů*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2007. 116 s.
- [16] Leinveber J., Vávra P. *Strojnické tabulky*. Úvaly: Albra, 2011. 927 s. ISBN 978-80-7361-081-4
- [17] Pivoňka, J. a kol. *Tekutinové mechanismy*. Praha: SNTL, 1987. 623 s.
- [18] Beater, P. *Pneumatic drives: system design, modelling and control*. Berlin: Springer, 2007. 323 pp. ISBN 978-3-540-96470-0.

Firemní dokumentace a katalogy:

Haberkorn, HIWIN, Schrack, Stránský a Petržík, Festo, Balluff, Zemic, Eaton, Siemens, Omron

18 Seznam příloh

Příloha A – Sestavný výkres 1-HI 16945

Příloha B – Funkční schéma 3-HI 16851

Příloha C - Specifikace prvků 4-HI 16852

Zvláštní příloha - CD